



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Master universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética

Modelos sostenibles de transporte urbano

Autor

Abel Ortego Bielsa

Director

Alfonso Aranda Usón

Curso: 2011-2012

Modelos sostenibles de transporte urbano

Modelos sostenibles de transporte urbano

*A Patricia, por inspirarme la calma y confianza que necesitaba para llevar a
cabo este trabajo. Gracias.*

Modelos sostenibles de transporte urbano

“No hay palabra mejor dicha, que aquella que todavía está por decir...”

Mis Padres

RESUMEN

En las ciudades se concentra gran cantidad de la población mundial y además la tendencia es que cada vez habrá mayor número de habitantes en las mismas. Esta alta concentración de población provoca un crecimiento en el tamaño de las ciudades y un aumento en las necesidades de movilidad diaria, tanto en tiempo empleado en desplazarse como en distancia recorrida.

Si además en las ciudades no se tiene un buen sistema de transporte público, se crea una alta dependencia del vehículo privado para cubrir las necesidades de movilidad diaria, con los problemas medioambientales que eso supone. Un ejemplo de ello es el caso de España, donde el 30,1 % de las emisiones de CO₂ se deben al sector del transporte. La movilidad individual se sitúa dentro de ese sector, siendo el uso del vehículo privado el responsable del consumo de un 15 % de la energía final,

Tal y como establece el Libro Blanco del Transporte en Europea, este sector debe de realizar una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos un 20 % para el 2030 con respecto a los niveles de 2008, por lo que resulta imprescindible desarrollar nuevos modelos de movilidad.

Para conseguir tal propósito hay que plantear medidas de mejora eficaces que sirvan para promocionar el transporte público y desarrollar la ciudad de forma inteligente para no aumentar las necesidades de movilidad de sus habitantes.

Por todo lo expuesto nace el presente trabajo, en el cual se ha calculando la dependencia existente entre la morfología de la ciudad y la forma de desplazarse, evidenciando la tendencia existente entre los indicadores: densidad de población, motorización, uso del transporte público e infraestructuras de aparcamientos en un estudio llevado a cabo en 30 ciudades europeas.

Para tratar los efectos que tienen los distintos tipos de desarrollos urbanos en los consumos de energía se ha evaluado cual es el punto óptimo de concentración de las parcelas de nuevas urbanizaciones, concluyendo que con valores de concentración superiores a 360 hab/ha se tendría un consumo medio de energía final por hogar inferior a 3.000 kWh/año. Debido a que el paso inicial para acometer medidas de mejora en la movilidad urbana es caracterizar el desplazamiento de las personas, se ha desarrollado una metodología que determina, en base a unas encuestas, la movilidad de un centro de actividad. Esta metodología ha sido validada en un caso de estudio llevado a cabo en la Universidad de Zaragoza, cuyos principales resultados son que la distancia media diaria recorrida por usuario es de 16,5 km y que el transporte público solamente es empleado por quienes recorren entre 3,93 km y 10,3 km diarios.

Por último se han evaluado los impactos directos de carácter energético y económico de los medios de transporte, comparando el uso del vehículo privado con los medios de transporte públicos. Los resultados obtenidos determinan que desde el punto de vista medioambiental la ocupación de los medios de transporte público ha de ser superior a 10,71 pasajeros/km y 11,92 pasajeros/km en el tranvía y autobús respectivamente. Comparando estos valores con los que actualmente se tienen en el sistema de transporte público de la ciudad de Zaragoza, solo el tranvía tiene una ocupación media mayor. El aumento de la ocupación no solamente repercute en la mejora medioambiental sino también en la sostenibilidad económica de los medios, pues en este caso, con la ocupación óptima, el autobús conseguiría financiarse íntegramente mediante los ingresos tarifarios.

Modelos sostenibles de transporte urbano

Modelos sostenibles de transporte urbano

INDICE

1. Introducción	10
2. Estado del arte	11
3. Objetivos	18
4. Metodología	18
5. Resultados	26
5.1. Relación existente entre dispersión urbana y consumo de energía	26
5.2. Caracterización de la movilidad. Caso de Estudio: Universidad de Zaragoza	30
5.3. Costes del vehículo privado y el transporte público. Caso de Estudio: Transporte Público de Zaragoza.	32
6. Conclusiones.....	39
7. Referencias.....	41

Anexo I: Cuestionario empleado para caracterizar la movilidad en un centro de actividad

Anexo II: Datos de las ciudades de estudio

Anexo III: Informe de simulación con el software URSOS

Anexo IV: Resultados de las encuestas y su muestra

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Evolución de la huella ecológica en Barcelona (ha/hab). Fuente (I. Muñiz et al, 2005)	13
Tabla 2: Datos de energía asociada al espacio ocupado por un vehículo. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de Breto S, et al,2008, J.M.Gomez.2004)	14
Tabla 3: Reparto de las emisiones correspondientes a la movilidad diaria en Lyon. Fuente (J.P Nicolas et al, 2003)	15
Tabla 4: Emisiones de CO ₂ en diferentes medios de transporte. Fuente (J.P Nicolas et al, 2003).....	15
Tabla 5: Coste anual en combustible según precios y distancia recorrida. Fuente (M.Aftabuzzaman et al, 2011).....	16
Tabla 6: Externalidades del transporte en Europa. Fuente (External cost of transport. Universidad de Karlsruhe, 2004)	17
Tabla 7: Costes unitarios del transporte. Fuente (Plan Director de la Movilidad Metropolitana de Barcelona, 2008)	17
Tabla 8: Indicadores para medir el Sprawl. Fuente (Elaboración propia a partir de T.Litman, 2005 y DVRPC, 2008).....	20
Tabla 9: Aspectos económicos de un vehículo. Fuente (Elaboración propia)	32
Tabla 10: Datos de pasajeros y desplazamientos de la red de transporte urbano. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de A.Moreno, 2012)	35
Tabla 11: Indicadores y valores de los medios de transporte. Fuente (Elaboración propia a partir de L.Pelmans et al, 2001).....	35
Tabla 12: Datos económicos de los distintos medios de transporte público. Fuente (Elaboración propia).....	35
Tabla 13: Costes del transporte público. Fuente (Elaboración propia).....	37
Tabla 14: Valores para empleados para el estudio, en el caso del vehículo privado. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de L.Pelmans et al, 2001; A.Moreno, 2012; CCOO, 2011 y CAF).....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de la movilidad sostenible y sus implicaciones. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de R.Hall, 1999).....	11
Figura 2: Consumo de combustible y densidad de población. Fuente (O.Mindali et al, 2004).....	12
Figura 3: Relación del automóvil y Sprawl. Fuente (Elaboración propia a partir de T.Litman, 2012)	13
Figura 4: Evolución del parque de turismos en España. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de ANFAC).....	16
Figura 5: Cobertura de los costes mediante la venta de billetes. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana, 2010).....	17
Figura 6: Metodología de trabajo. Fuente (Elaboración Propia)	19
Figura 7: Relaciones entre tipo de desarrollo urbano y movilidad. Fuente (Elaboración propia)	20
Figura 8: Metodología empleada en el cálculo. Fuente (Elaboración propia)	21
Figura 9: Metodología para la evaluación de la movilidad. Fuente (Elaboración propia).....	22
Figura 10: Ubicación de las zonas de estudio. Fuente (Google earth)	23
Figura 11: Metodología de estudio de los aspectos económicos del transporte privado. Fuente (Elaboración Propia)	24
Figura 12: Metodología de estudio de los aspectos económicos del transporte público. Fuente (Elaboración propia)	25

Modelos sostenibles de transporte urbano

Figura 13: Relación entre motorización y densidad de población. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)	26
Figura 14: Relación entre el uso del transporte público y la densidad de población. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)	26
Figura 15: Relación entre motorización y uso del transporte público. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)	27
Figura 16: Relación entre disponibilidad de aparcamientos y uso del transporte público. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)	27
Figura 17: Demanda de energía por climatización en los seis tipos de urbanismo estudiados	28
Figura 18: Demanda de energía de transporte y edificación según densidad de población. Fuente (Elaboración propia)	29
Figura 19: Modalidad y distancia diaria. Fuente (Elaboración Propia)	30
Figura 20: Modalidad y tiempo diario de desplazamiento. Fuente (Elaboración Propia)	31
Figura 21: Relación entre diferentes opciones de movilidad y la distancia a recorrer. Fuente (Elaboración propia)	31
Figura 22: Distribución de los costes de un vehículo según distancia anual recorrida. Fuente (Elaboración propia)	32
Figura 23: Coste de un vehículo privado y car sharing. Fuente (Elaboración propia)	33
Figura 24: Evolución de la población y usuarios de transporte público. Fuente (Elaboración Propia)	34
Figura 25: Coste del billete según modalidad de abono y uso. Fuente (Elaboración Propia)	36
Figura 26: Evolución de los costes asumidos por usuario y ayuntamiento en función de la ocupación. Caso Bus. Fuente (Elaboración Propia)	37
Figura 27: Evolución de los costes asumidos por usuario y ayuntamiento en función de la ocupación. Caso Tranvía. Fuente (Elaboración Propia)	37
Figura 28: Emisiones de CO₂/pasajero y km frente a la ocupación de los medios y comparativa con vehículo privado. Fuente (Elaboración propia)	38

Palabras Clave: Movilidad, sostenibilidad, transporte, urbanismo, energía

1. Introducción

En las ciudades y áreas metropolitanas se concentra un alto consumo de energía derivado de la alta actividad diaria que en dichos espacios tiene lugar. Tal y como cita M.Jovanovic et al (2010) es de gran importancia considerar como son los sistemas energéticos de las ciudades pues en ellas hay una gran cantidad de consumos y tipos de energía.

Prueba de la gran cantidad de consumidores de energía que hay en las ciudades es que en 2008 se alcanzó por primera vez que la mitad de la población vivía en áreas urbanas, además se estima que esta cifra crecerá hasta el 60 % en el año 2030 (UNFPA, 2007). Como consecuencia de este crecimiento se espera que en dicha fecha tres cuartas partes del consumo mundial de energía se centre en las ciudades (K.Friedman et al, 2011). Si se considera además esta proyección en un horizonte más lejano (2050), para entonces se tendrá un 70 % de la población mundial viviendo en las ciudades, por ello resulta fundamental que en las ciudades se realicen planes y estrategias de crecimiento para que este se produzca de una manera sostenible e inteligente (P.Zhao, 2010).

Uno de los factores de mayor consumo de energía en las ciudades es la movilidad. Desde el punto de vista energético la movilidad se sitúa dentro del sector transporte, por ello en la planificación de este sector tan demandante de energía se debe considerar como es la movilidad urbana (H.de Freitas et al, 2011). La movilidad tiene una fuerte dependencia del vehículo privado y el uso de estos una alta implicación en el consumo de combustibles fósiles, como ejemplo basta comprobar el caso de España, donde el sector del transporte tiene una dependencia de los combustibles fósiles de un 98,3 % (A.Cediel, 2009), esta dependencia provoca una demanda anual de 11.000 millones de litros de gasolina y 24.000 millones de litros de gasóleo (IDAE, 2011).

La alta dependencia de los combustible fósiles no solamente provoca efectos medio ambientales negativos, sino que también provoca agotamiento de los recursos y por tanto una alta vulnerabilidad a sus condiciones de suministro. Basta con analizar el ritmo de extracción de barriles de crudo en EEUU, desde 1.970 hasta la actualidad se ha pasado de 11.3 millones de barriles diarios hasta 7.2 millones de barriles, mientras que en dicho país el consumo del mismo recurso ha pasado en ese periodo de 14,7 a 18,7 millones de barriles diarios, aumentando la fracción de demanda cubierta por petróleo no nacional del 20% al 70% (T.J Wallington et al, 2011). Con todos estos argumentos se puede comprender como estudiar la movilidad diaria en las ciudades es fundamental para garantizar una sostenibilidad de los medios de transporte. Por ello es preciso analizar cuál es la implicación de la movilidad urbana dentro de esos consumos, analizando aspectos medioambientales, urbanísticos y económicos. Antes de analizar la movilidad urbana se va a aclarar que se entiende por movilidad sostenible, para ello consideraremos la siguiente definición aportada por Antonio Nelson Rodrigues da Silva et al (2008)

“Movilidad sostenible es aquella que permite satisfacer la accesibilidad y la movilidad de las personas y las empresas que la sociedad necesita, siendo compatible con la salud humana, el equilibrio del ecosistema y teniendo un coste aceptable. Debe de funcionar de forma eficiente y ha de ofrecer la posibilidad de poder elegir entre modalidades de transporte apoyando al desarrollo de las regiones, teniendo bajas o nulas emisiones de Gases de Efecto Invernadero, reduciendo el impacto de los residuos que genere y empleando preferentemente fuente renovables”

Modelos sostenibles de transporte urbano

Para poder comprender todas las implicaciones de la movilidad urbana es preciso estudiar cómo se relaciona con los tres pilares de la sostenibilidad: medioambiente, sociedad y economía, en la Figura 1 se muestra dicha relación.

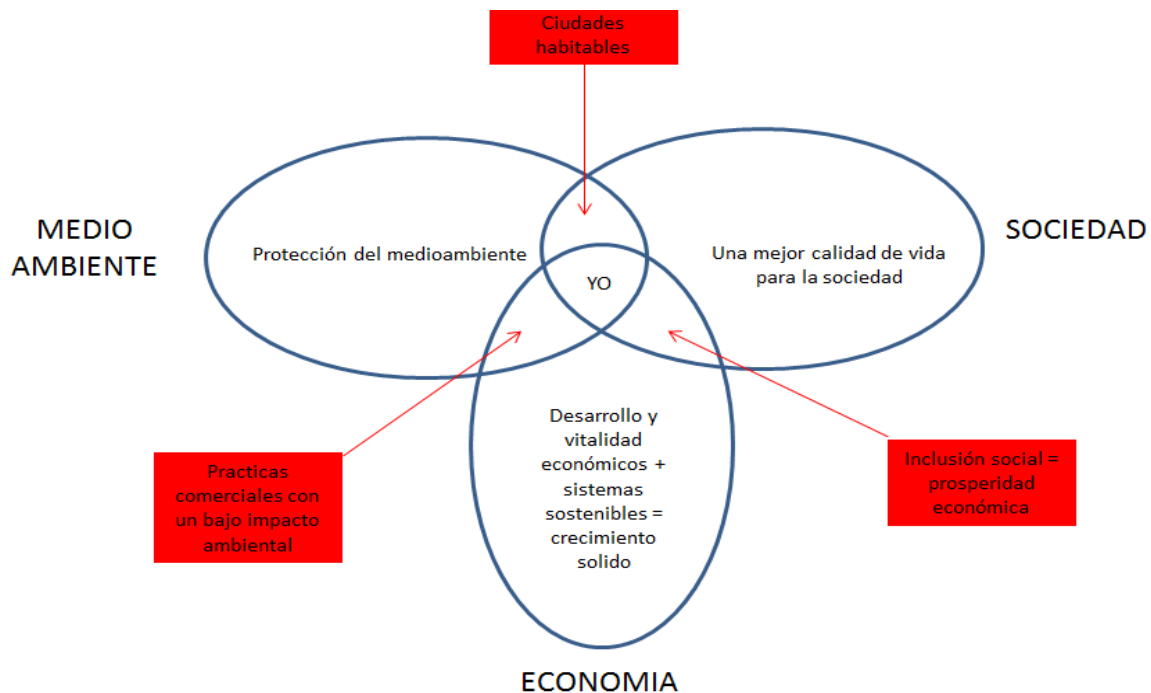


Figura 1: Esquema de la movilidad sostenible y sus implicaciones. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de R.Hall, 1999)

La movilidad individual afecta a cada una de esas áreas y estas se relacionan entre sí caracterizando el modo de satisfacer las necesidades individuales. La explicación de esta relación es que un adecuado sistema de movilidad es derivado de la disposición de ciudades más habitables, de tal forma que contribuye a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, es respetuoso con el medioambiente y viable económicamente.

2. Estado del arte

La movilidad urbana sostenible ha sido estudiada previamente a través de su relación con el desarrollo urbano, la forma de caracterizar los desplazamientos, el uso de las TIC y las consideraciones tanto económicas como energéticas de los distintos medios y tecnologías de transporte. En las ciudades, los índices de motorización y la demanda de movilidad en vehículo privado han aumentado en las últimas décadas y con ellos los problemas asociados a los mismos (J.Pozueta, 2000). Uno de los principales responsables de ese aumento de la demanda es el planeamiento urbanístico, ya que define los principales condicionantes de la movilidad como los modelos territoriales y urbanos, densidad de población, distribución espacial de los diferentes servicios, etc... Mediante el tipo de desarrollo urbano se puede favorecer a unos u otros medios de transporte con acciones como la regulación de la cantidad y accesibilidad de los aparcamientos. La movilidad y la densidad de población están altamente relacionadas, en las ciudades en las cuales se tiene una mayor densidad de población como en Barcelona, los desplazamientos medios diarios realizados por la ciudad son inferiores a 10 km, en cambio en ciudades con una alta dispersión como Johannesburgo, la distancia media de los desplazamientos está por encima de los 25 km diarios (M.Vanderschren et al, 2010). Prestar atención a la dispersión urbana y sus consecuencias es vital ya que afecta directamente a la movilidad de las personas y a los medios elegidos para satisfacer la misma.

Modelos sostenibles de transporte urbano

En la Figura 2 se evidencia esa fuerte dependencia, pudiéndose comprobar cómo las ciudades con mayor consumo de energía, son aquellas que tienen una alta dispersión urbana como consecuencia de haber realizado desarrollos urbanos que favorecen el uso del vehículo privado.

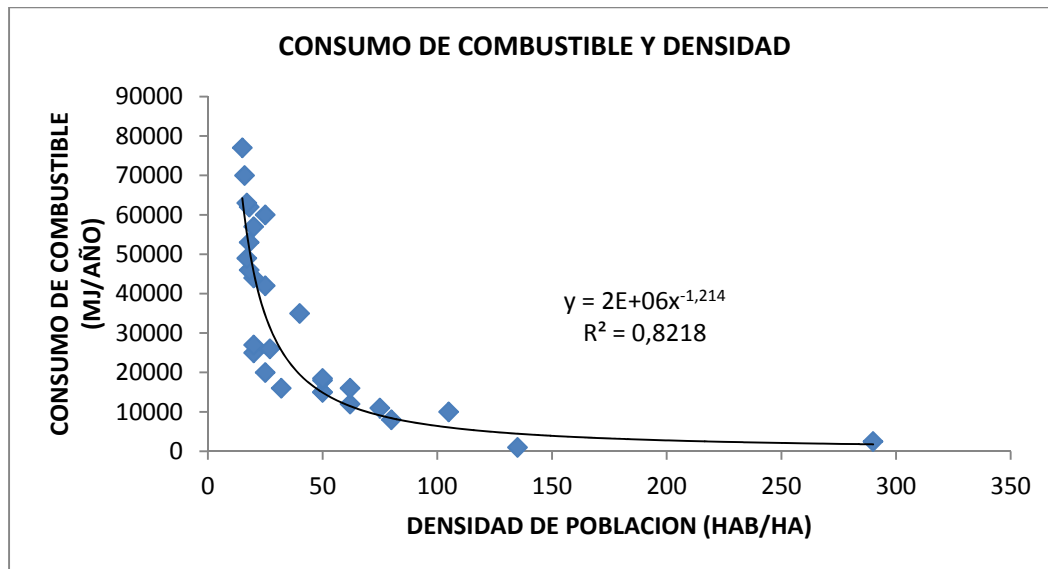


Figura 2: Consumo de combustible y densidad de población. Fuente (O.Mindali et al, 2004)

La fuerte dependencia existente entre densidad de población y consumo de energía, puede verse en los resultados de estudios previos llevados a cabo, como el realizado por P.Newman et al (1991) que demuestran cómo hay variaciones en el consumo anual de energía per cápita desde 17.000 MJ en la ciudad de Paris hasta 70.000 MJ en la ciudad de Detroit.

Para paliar los problemas de movilidad desde el urbanismo se pueden hacer acciones tales como diseñar la ciudad accesible al peatón, aumentar la densidad de población, agrupar las zonas de actividad, realizar una adecuada conectividad entre calles y hacer una política correcta de gestión de aparcamiento. Estas acciones pueden reducir entre un 20 y un 40 % la demanda de suelo frente a zonas con una alta dependencia del vehículo (J.Norman et al, 2006), lo que se traduce en una menor participación de los medios motorizados.

En este punto se puede preguntar ¿por qué ha aumentado tanto la dispersión de las ciudades?. La principal causa es que durante el último siglo muchas decisiones sobre el transporte y el uso del suelo estaban encaminadas al uso y dependencia del automóvil. En la Figura 3 se muestra que ese tipo de desarrollo urbano crea un círculo de dependencia ya que aumentar la motorización en las ciudades lleva implícito planificar la movilidad hacia el uso del vehículo privado, desplazando el transporte público y desarrollando infraestructuras dirigidas hacia el uso del vehículo que fomentan la dispersión urbana.

Modelos sostenibles de transporte urbano

En la actualidad se puede considerar que la mayoría de las áreas urbanas son policéntricas. Consisten en una zona central rodeada por pequeñas zonas comerciales y el centro de la ciudad rodeada por barrios de menor tamaño. Este desarrollo disperso de baja densidad que provoca una alta dependencia del automóvil es conocido como Sprawl. Es importante indicar que el crecimiento de la población en las ciudades no necesariamente lleva implícito el Sprawl, siempre y cuando este desarrollo refleja principios de crecimiento inteligente (*E.Meijers et al, 2009*).

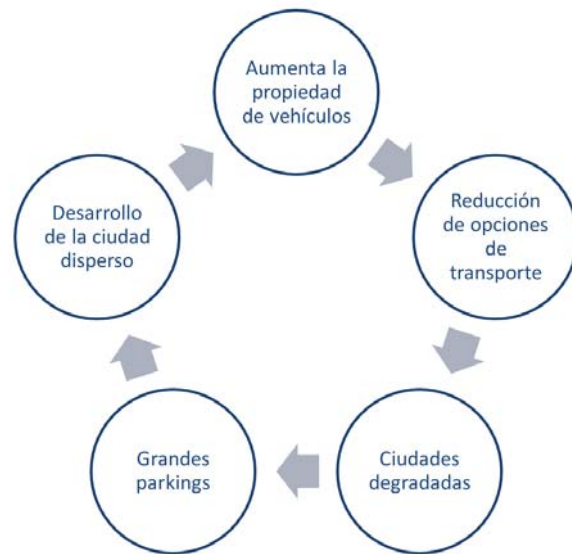


Figura 3: Relación del automóvil y Sprawl. Fuente (Elaboración propia a partir de T.Litman, 2012)

Las decisiones sobre la planificación del transporte tienen una alta afección en el uso de la tierra, tanto directamente como indirectamente. Mediante la primera porque la tierra es dedicada a construir infraestructuras del transporte como carreteras o aparcamientos, e indirectamente porque afectan a la accesibilidad y al coste de las diferentes zonas (*E.Damian Kelly, 1994*). Si en el desarrollo de una ciudad se favorecen las infraestructuras del automóvil se provoca una fuerte disminución en el espacio útil de la ciudad disponible para construir edificios, provocando un incremento del espacio requerido para el desarrollo, el cual se dirige hacia la periferia de la ciudad en las cuales el coste del terreno es menor y como resultado la ciudad crece de tamaño y se vuelve más dependiente del automóvil (*T.Litman, 2012*).

Aumentar la movilidad diaria implica un uso de recursos energéticos mayor, este hecho queda reflejado en el análisis de los indicadores medioambientales como la huella ecológica en las áreas metropolitanas. En la Tabla 1 se muestran los resultados de un estudio realizado por *I. Muñiz et al (2005)* donde se ve esa evolución en distintas zonas del área metropolitana de Barcelona. En todos los casos ésta ha aumentando, pero destaca el fuerte incremento en las zonas del extrarradio como consecuencia de la mayor dependencia del vehículo privado y mayor distancia diaria recorrida.

	1986	1991	1996	Variación (1986 – 1996)
Barcelona centro	16.89	22.74	25.79	52 %
Primer cinturón	14.46	20.28	23.28	60 %
Segundo cinturón	10.77	17.03	22.41	108 %

Tabla 1: Evolución de la huella ecológica en Barcelona (ha/hab). Fuente (I. Muñiz et al, 2005)

Además de la alta dependencia del automóvil, el desarrollo disperso crea otros efectos negativos derivados de aumentar la superficie pavimentada, como la creación de islas de calor que en verano producen aumentos de temperatura próximos a los 3°C (*B.Stone et al, 2010*).

Modelos sostenibles de transporte urbano

La alta relación existente entre desarrollo urbano y movilidad así como los motivos por los cuales las ciudades se dispersan tanto, ha sido estudiada en trabajos anteriores mediante el análisis de los distintos medios de transporte y la demanda de espacio de los mismos. Ésta depende del tipo de medio de transporte y la velocidad a la que se desplaza. Considerando las infraestructuras necesarias para su uso, un automóvil tiene una demanda de espacio diez veces superior a la de un autobús (*Molina et al, 1980*). Si además de la ocupación de espacio se considera la capacidad de las infraestructuras desarrolladas, se tiene que en los medios colectivos como el autobús y el ferrocarril éste valor está entre 5.000 y 8.000 personas/hora*m de anchura de carril respectivamente, en cambio en vehículos está por debajo de los 100 (*Laconte.P, 1996*)

Como ejemplo, sirve conocer la demanda total de espacio de un vehículo privado, considerando que un aparcamiento tiene 2,5 m de ancho y 5,5 m (*B.Stone et al, 2010*) y que en condiciones de circulación urbana, un vehículo requiere un carril de 3,8 m de ancho y 25 m de espacio longitudinal (*R.Camagni et al, 2002*), de forma media en una urbanización en cuyo diseño se han dirigido las infraestructuras hacia el uso del vehículo entre el 66 % y el 80 % de la tierra es necesaria para hacer aparcamientos en superficie y calles (*P.Newman et al, 1999*).

La demanda de superficie de los vehículos privados es demasiado elevada, pues requiere entre 80 m² y 140 m² de espacio por vehículo, si se compara este valor con el uso del espacio para otras necesidades, se tiene que una vivienda está en torno a 100 m², un puesto de trabajo requiere 10 m² y un comercio 30 m², lo que evidencia que un vehículo requiere más espacio que una vivienda, un puesto de trabajo o un comercio (*B.Janke et al, 2011*). El espacio que requieren las infraestructuras de la movilidad no solamente es superficie sino también energía, basta con comparar la energía que podría aprovecharse en la superficie ocupada por un vehículo con las siguientes consideraciones.

Superficie del vehículo e infraestructuras (m2)	140
Productividad de suelo (kg materia seca/m2*año)	0,4
Producción de un huerto (kg lechugas/m2*año)	3,5
Consumo de combustible de un camión (l/100 km)	35
Capacidad de un camión (ton)	22
Distancia (km)	500
Energía solar incidente (kWh/m2*año)	1.644

Tabla 2: Datos de energía asociada al espacio ocupado por un vehículo. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de Breto S, et al,2008, J.M.Gomez.2004)

Analizando esos factores se tiene que en esos 140 m² se podrían cultivar 490 kg/año de lechugas, las cuales si fueran importadas desde una distancia de 500 km, tendrían implícito un consumo de energía por el transporte de 57 kWh. También se podría aprovechar la radiación solar incidente sobre esa superficie de 230 MWh/año que podría producir 56 kg de materia seca, que tienen un valor energético de 227 kWh, susceptible de ser aprovechada en sistemas térmicos de aprovechamiento de biomasa.

Además de las implicaciones existentes entre desarrollo urbano, demanda de superficie y movilidad, existe otro factor muy importante asociado al uso de los vehículos privados como las emisiones de gases de efecto invernadero. En la Tabla 3 se muestran cuales son los principales causantes de las emisiones directas asociadas a la movilidad de las personas en la ciudad de Lyon, que tiene una alta dependencia del vehículo privado para satisfacer la movilidad urbana:

Modelos sostenibles de transporte urbano

	% de viajes urbanos	% de distancias	% de emisiones				
			CO ₂	CO	VOC	NO _x	Partículas
Vehículo propio (pasajero)	12,3	15,1	---	---	---	---	---
Vehículo propio diesel (conductor)	29,2	40,2	60,7	96,7	91,4	64,9	0
Vehículo propio gasolina (conductor)	11,2	18,7	31,1	1,7	3,3	15,5	84,7
Transporte público urbano	12,2	16,8	6,9	0,7	1,3	17,3	12,9
Transporte público interurbano	1,1	2,3	1,1	0,1	0,3	2,2	2,2
Motocicletas	0,6	0,6	0,1	0,9	3,7	0	0
Pie¹	32	5,2	0	0	0	0	0
Bicicleta	0,7	0,6	0	0	0	0	0
Otros	0,4	0,5	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 3: Reparto de las emisiones correspondientes a la movilidad diaria en Lyon. Fuente (J.P Nicolas et al, 2003)

Contabilizando vehículos diesel y gasolina, estos son los responsables del 91,8 % de las emisiones de CO₂ correspondientes a la movilidad. Las emisiones varían dependiendo de la modalidad seleccionada para la movilidad y la ocupación de los medios, hay muchos estudios previos llevados a cabo en esta área, como el realizado por (J.P Nicolas et al, 2003) en el cual se evalúan las emisiones de CO₂ asociadas a los distintos medios de transporte.

Medio de transporte	grCO ₂ /pasajero*km
Coche	111
Avión	169
Tren	15
Bus urbano	41
Motocicleta	41

Tabla 4: Emisiones de CO₂ en diferentes medios de transporte. Fuente (J.P Nicolas et al, 2003)

Como se ha visto anteriormente los vehículos son grandes responsables de la contaminación atmosférica que tienen lugar en los entornos urbanos, sin embargo cada vez son más eficientes como consecuencia de la aplicación de las directivas Euro sobre emisiones. A pesar de ello hay aspectos sobre los vehículos que deberían de mejorar considerando cuestiones de ecodiseño, como la alta demanda de potencia y el incremento de peso debido al aumento de tamaño. Es por estos dos últimos motivos por lo que a pesar de que las emisiones de CO₂ se reduzcan como consecuencia de la mejora de la eficiencia de los motores, el margen real de mejora sería mucho mayor. Basta con ver que la variación de potencia y peso de los automóviles ha tenido un incremento de un 60 % y un 47 % respectivamente en los últimos 30 años (L.Schipper, 2011), como ejemplo de este incremento se puede ver que en 1961 un vehículo² tenía un consumo de 14 l/100 km en recorrido urbano (Hugh Thomas, 2007) y ahora un vehículo equivalente³ consume 5,2 l/100 km, sin embargo el peso de este último es de 1.343 kg frente a los 1.130 kg que pesaba el anterior. Esto evidencia que a pesar de la mejora en eficiencia en motorización no se han desarrollado vehículos ligeros específicos para los trayectos urbanos.

¹ Considerando balance de emisiones neutro.

² SEAT 1400 gasolina

³ Citroën C4

Modelos sostenibles de transporte urbano

Además del consumo de energía directo derivado del uso de los vehículos, si se considera también que la energía necesaria para fabricar un vehículo equivale al 20 % de la que consumirá en su operación durante su vida útil (A.Aranda et al, 2011) el consumo energético de los mismos es mucho más elevado. El crecimiento de la motorización en los últimos años ha sido muy grande (ver Figura 4), por ello es preciso que la población deje de depender del vehículo ya que el impacto de esta dependencia va mas allá de las emisiones directas que provocan en su uso.

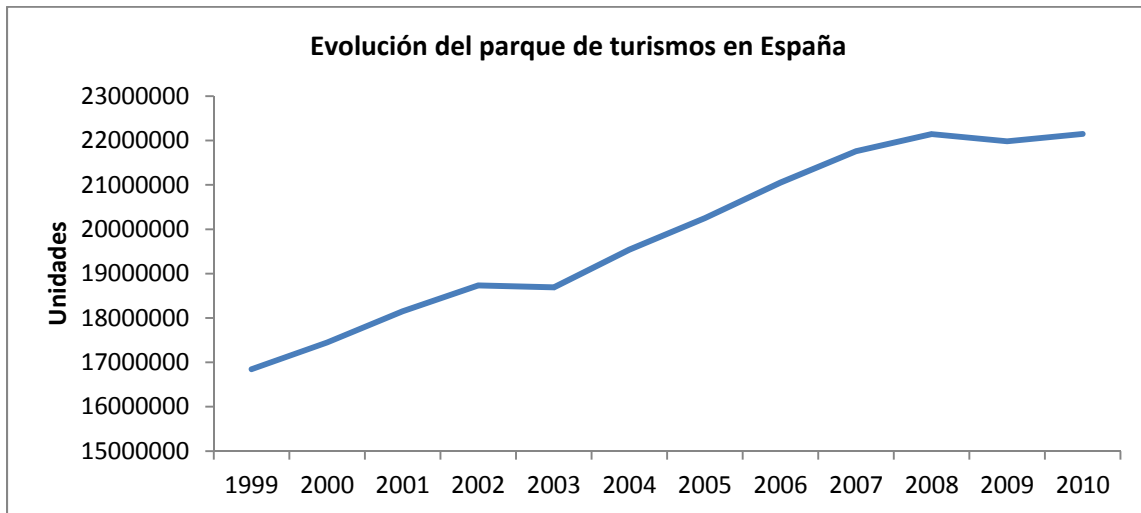


Figura 4: Evolución del parque de turismos en España. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de la Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones)

Otros de los efectos más perjudiciales estudiados previamente sobre la dependencia del vehículo privado, es la vulnerabilidad de la sociedad al coste de los combustibles, ya que a pesar de que la demanda de combustible tiene un cierto grado de elasticidad, si en las zonas altamente dependientes del vehículo privado para la movilidad se tuviera un fuerte aumento del coste del combustible se podrían generar problemas de movilidad para mucha gente por el alto coste del mismo:

	Precio actual 1,3 \$/l			75 % de aumento 2,28 \$/l			150 % de aumento 3,25 \$/l		
Consumo (l/100 km)	8	12	16	8	12	16	8	12	16
15.000 k/año	1560	2340	3120	2730	4095	5460	3900	5850	7800
25.000 km/año	2600	3900	5200	4550	6825	9100	6500	9750	13000
35.000 km/año	3640	5460	7280	6370	9555	12740	9100	13650	18200

Tabla 5: Coste anual en combustible según precios y distancia recorrida. Fuente (M.Aftabuzzaman et al, 2011)

Los costes del transporte son por tanto otro de los elementos clave de estudio. El transporte tiene asociados unos costes, tanto internos, derivados de la realización de las infraestructuras y su mantenimiento principalmente, como externos a causa de los accidentes, contaminación, aparcamientos, costes de congestión, etc... (Becker et al, 2001). Cuantificar el coste real de esas externalidades es altamente complejo ya que dependen del país y la situación económica, pero el tipo de desarrollo urbano tiene una alta implicación en los costes externos ya que los desarrollos dispersos incrementan el coste de las carreteras y los servicios públicos un 10 % y el de las viviendas un 8 %. (Robert.W et al, 2003).

Modelos sostenibles de transporte urbano

Como ejemplo de los costes externos se pueden ver los siguientes valores:

Tipo de coste	Aportación (%)	M€/año
Accidentes	24	156.439
Ruido	7	45.644
Contaminación atmosférica	27	174.617
Cambio climático	30	195.714
Naturaleza y paisaje	3	20.014
Costes adicionales en zonas urbanas	2	47.376
Procesos aguas arriba y abajo	7	10.472

Tabla 6: Externalidades del transporte en Europa. Fuente (External cost of transport. Universidad de Karlsruhe, 2004)

Teniendo en cuenta los costes internos y externos, los valores de los principales medios de movilidad urbana son los siguientes.

Modalidad	€/viajero*km
Transporte público	0.583
Transporte privado	0.749

Tabla 7: Costes unitarios del transporte. Fuente (Plan Director de la Movilidad Metropolitana de Barcelona, 2008)

Ante esas cifras hay que valorar como tener una ineficiencia en la movilidad diaria no solo repercute en una pérdida de espacio y tiempo sino también de dinero. Los costes del transporte han de ser por tanto un elemento determinante para establecer políticas sobre él, que lo hagan más eficiente y sostenible. Estudiando los costes del transporte se identifica otra área de estudio de gran importancia como la sostenibilidad económica del transporte público. Estudiar este punto es clave para conseguir el éxito de los sistemas colectivos de movilidad urbana (K.Nakamura et al, 2012). En la Figura 5 se muestra cual es la cobertura de los costes conseguida por el transporte público a través de la venta de billetes en diversas ciudades españolas. Ese valor se encuentra de forma media entre un 40% y un 50 %, por lo que la aportación de la administración al total del servicio es muy elevada para poder mantener los servicios.

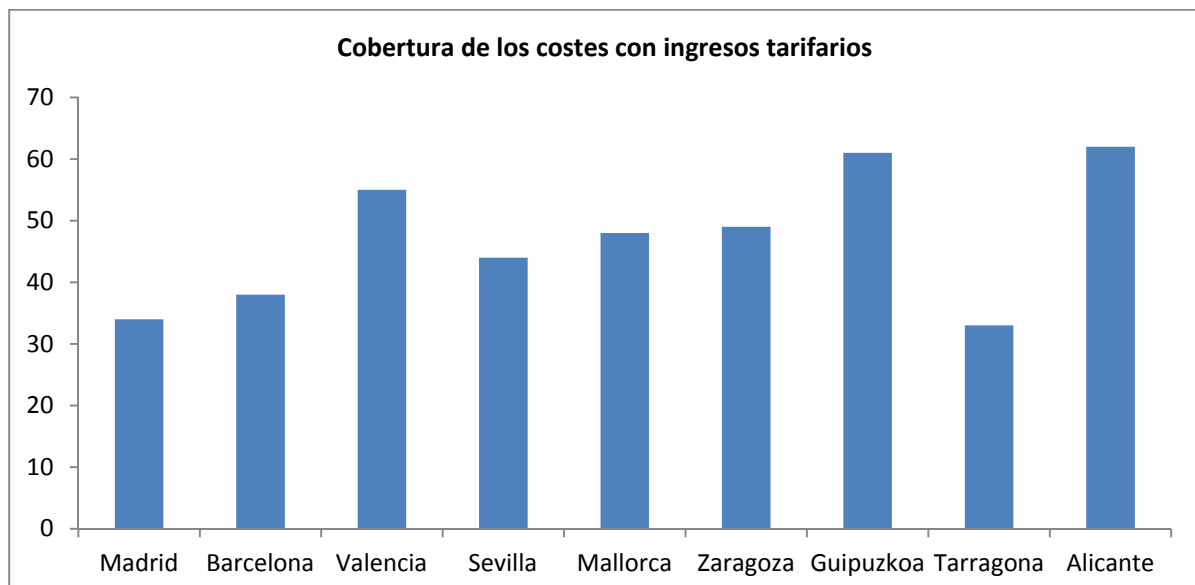


Figura 5: Cobertura de los costes mediante la venta de billetes. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana, 2010)

Modelos sostenibles de transporte urbano

Viendo las implicaciones existentes entre tipos de desarrollo urbano, movilidad y costes de los sistemas se concluye como resulta imprescindible estudiar los causantes de dichos problemas para poder plantear soluciones efectivas.

3. Objetivos

Tal y como se ha visto en el estado del arte hay varias áreas de trabajo para poder mejorar la sostenibilidad de las ciudades desde la movilidad. En el presente trabajo se tratarán algunas de ellas para conseguir los siguientes objetivos específicos:

- Determinar cuál es el grado de concentración óptimo de nuevas urbanizaciones, analizando las implicaciones que tienen en la movilidad urbana.
- Conocer la dependencia existente entre los tipos de desarrollo urbano medido a través de la densidad de población y las infraestructuras para los vehículos y la movilidad urbana.
- Conocer un método para caracterizar la movilidad en un centro de actividad y los principales indicadores a obtener.
- Comparar las emisiones de CO₂ directas asociadas a los medios de transporte público con las del vehículo privado, comparando como influye la ocupación de los medios en estos valores.
- Determinar cuáles son los costes asociados a un vehículo y determinar si existen alternativas más viables económicamente y energéticamente, como el car sharing.
- Determinar cómo se financia un sistema público de transportes y evaluar su dependencia con el grado de ocupación.

Para conseguir estos objetivos se desarrollará una metodología que será validada mediante varios casos de estudio.

4. Metodología

Para poder elaborar la metodología propia de trabajo se ha realizado una revisión de 51 artículos científicos. En dicha revisión se han identificado las siguientes tres líneas de investigación:

- Tipologías de desarrollo urbano e implicaciones en el consumo de energía asociado a la movilidad
- Caracterización de la movilidad en un área urbana
- Aspectos económicos asociados a la movilidad urbana

Conociendo las áreas de investigación más importantes, se ha desarrollado la metodología. En la primera parte se determinan las relaciones existentes entre los tipos de desarrollo urbano posibles y las implicaciones que tienen en la movilidad, mediante un estudio comparativo de los principales indicadores de movilidad en 30 ciudades europeas. Conocida esta relación se analiza cómo podrían ser más sostenibles los nuevos desarrollos urbanos mediante el empleo del Software URSOS desarrollado por el Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza y el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

La segunda parte de la metodología se centra en determinar cómo caracterizar la movilidad de un centro de actividad. Para ello se construyen las matrices movilidad - tiempo y movilidad - distancia a partir de los resultados de un estudio realizado mediante encuestas. Esta parte será validada mediante un caso de estudio aplicado a la movilidad en varios Campus Universitarios de la ciudad de Zaragoza.

Modelos sostenibles de transporte urbano

Para finalizar se analiza la relación existente entre la ocupación de los medios de transporte urbano y los aspectos económicos y medioambientales de los mismos. Evaluando los costes directos de los vehículos privados y de los sistemas de transporte público así como el método de financiación de estos últimos. Esta parte será validada mediante un Caso de Estudio realizado sobre los medios de transporte público urbano de la ciudad de Zaragoza.

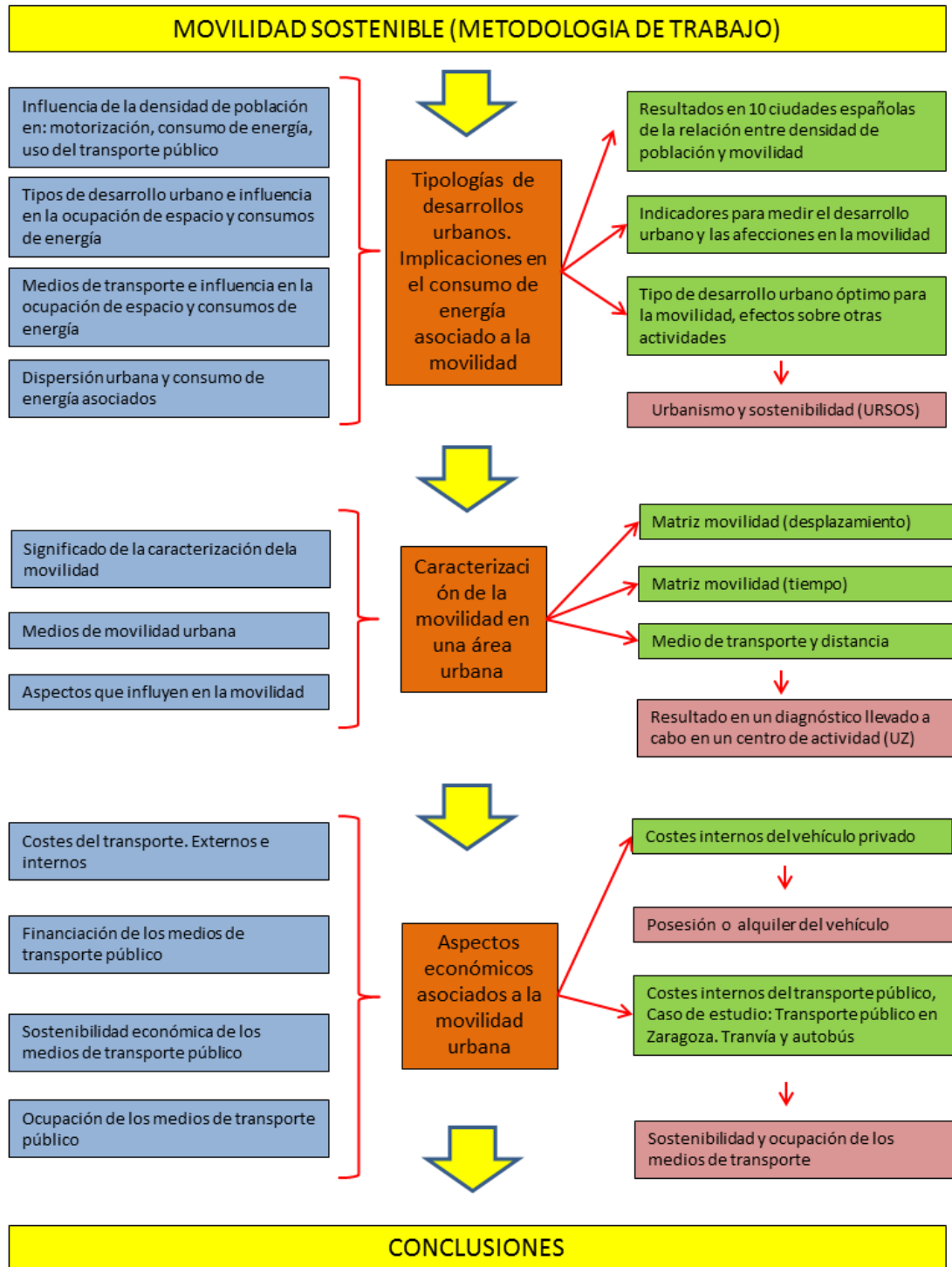


Figura 6: Metodología de trabajo. Fuente (Elaboración Propia)

Modelos sostenibles de transporte urbano

El primer punto es conocer cómo se puede medir la dispersión urbana y la movilidad, para ello se elabora una tabla de indicadores a partir de los empleados en los estudios de T.Litman y la Delaware Valley Regional Planning Commission:

Indicador	Unidad
Densidad de población	hab/ha
Motorización	Ud/1000 hab
Uso del vehículo privado	%
Uso del transporte público	%
Aparcamientos	ud/vehículo
Consumo de energía	kWh/km
Ocupación	Pasajeros/km
Infraestructuras de transporte público	km/año
Emisiones	grCO ₂ /pasajero*km
Coste del servicio de transporte	€/km
Financiación del servicio de transporte	€/pasajero

Tabla 8: Indicadores para medir el Sprawl. Fuente (Elaboración propia a partir de T.Litman, 2005 y DVRPC, 2008)

De esta forma se van a evaluar las implicaciones asociadas a la movilidad estableciendo la dependencia existente entre la densidad de población, la motorización el uso del transporte público y la existencia de aparcamientos.

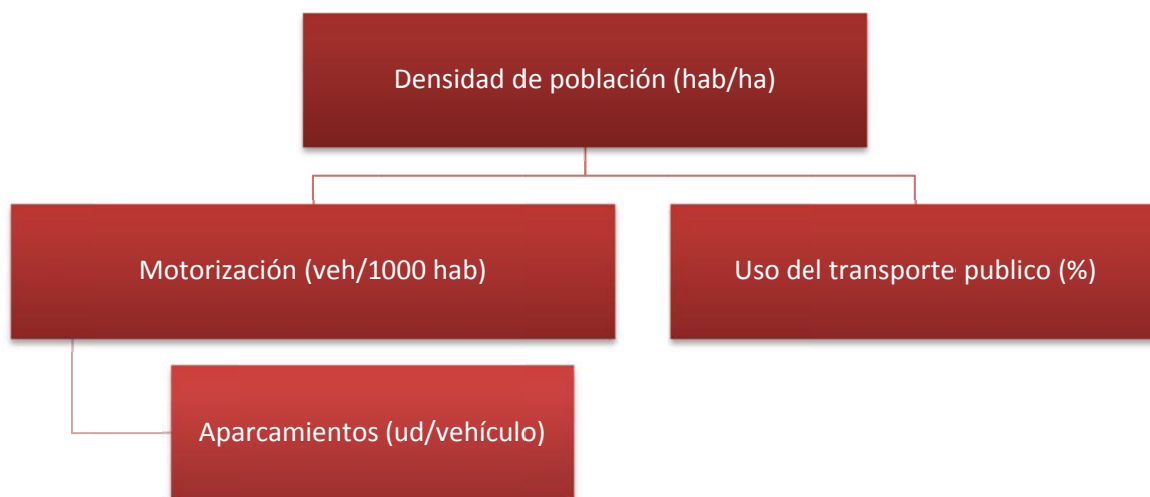


Figura 7: Relaciones entre tipo de desarrollo urbano y movilidad. Fuente (Elaboración propia)

Los valores de las distintas ciudades estudiadas, son obtenidos a partir del Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM) y el Barómetro anual desarrollado por la Autoridad Europea del Transporte Metropolitano (EMTA).

Debido a que desde la perspectiva de la movilidad lo más adecuado es tener una alta compactación de la ciudad se analiza cómo deben de ser los desarrollos urbanos para que no provoque un aumento de otros consumos de energía como los derivados de los consumos de energía en la edificación. Para poder establecer el punto óptimo de compactación urbana se emplea el software de cálculo URSOS mediante el cual se realiza la siguiente estructura de trabajo.

Modelos sostenibles de transporte urbano

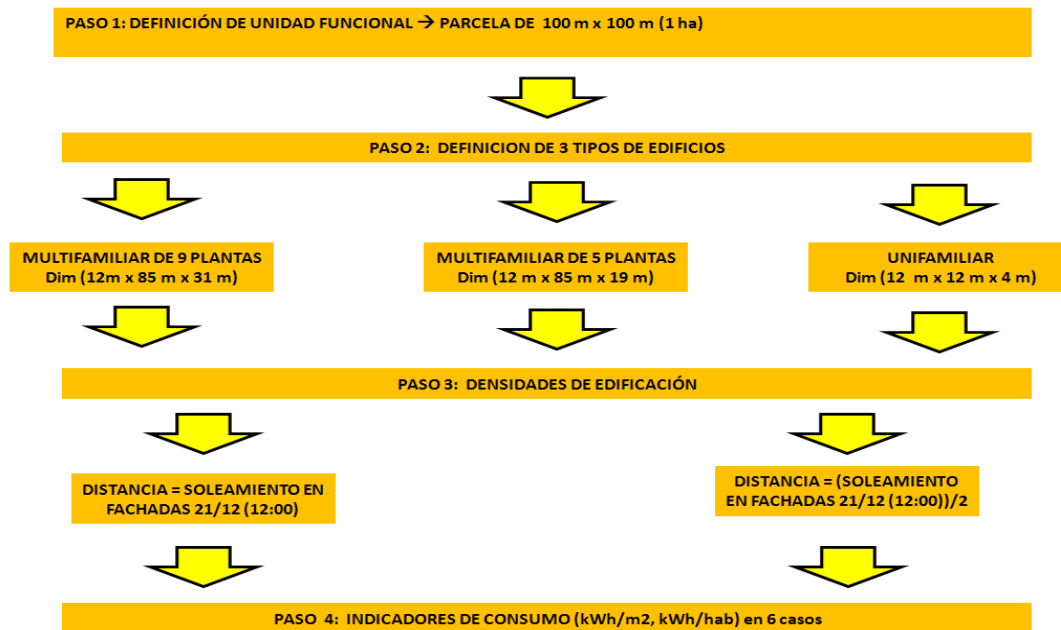


Figura 8: Metodología empleada en el cálculo. Fuente (Elaboración propia)

El primero de los pasos es definir el tamaño de la unidad funcional a emplear en los cálculos, la cual será una parcela de dimensiones 100 m x 100 m. Esa parcela será empleada por 3 edificios:

Edificio tipo A: Bloque de pisos de 12 m x 85 m x 31 m con una altura de nueve plantas. Con una totalidad de 108 viviendas de 80 m².

Edificio tipo B: Bloque de pisos de 12 m x 85 m x 19 m con una altura de cinco plantas. Con una totalidad de 60 viviendas de 80 m².

Edificio tipo C: Unifamiliar de 12 m x 12 m x 4 m con una planta, con una vivienda de 110 m².

Las variables de estudio empleadas para la simulación en URSOS son las siguientes:

- Emplazamiento: Zaragoza
- Temperatura de confort: 21°C invierno y 26°C verano
- Tasa de renovaciones/hora: 0,5
- Ganancias internas: 0,15 kWh/m² día
- Ocupación: 100 %
- U cerramientos: 0,66 W/m²°C
- Huecos en fachada sur/norte/este/oeste: 60 %/10%/25%/35%

Para cada tipo de edificio se consideran dos parcelas, un primer caso en el cual se tiene los edificios separados para tener un adecuado soleamiento en fachado sur y un segundo caso en el cual están a la mitad de esa separación, de esta forma tenemos los siguientes 6 casos de estudio a tratar en la simulación con URSOS:

- **Caso 1:** separación de los bloques de 9 plantas (tipo A) a 65 m
- **Caso 2:** separación de los bloques de 9 plantas (tipo A) a 32 m
- **Caso 3:** separación de los bloques de 5 plantas (tipo B) a 40 m
- **Caso 4:** separación de los bloques de 5 plantas (tipo B) a 20 m
- **Caso 5:** separación de los unifamiliares (tipo C) a 40 m
- **Caso 6:** separación de los unifamiliares (tipo C) a 20 m

Con respecto a la ocupación se considera que en los pisos hay 3 personas y en los unifamiliares hay 4.

Modelos sostenibles de transporte urbano

Disponiendo de la evolución de los consumos de energía en los edificios según la concentración urbana se comparan con los valores de consumos de energía asociados a la movilidad obtenidos de la expresión desarrollada por O.Mindali et al (2004)

$$Demanda\ transporte = 2E6 * Densidad^{-1.214}$$

De esta manera se establece la evolución de los consumos domésticos asociados a la movilidad y a los edificios según el grado de concentración.

Determinado el método para evaluar la relación entre dispersión urbana y consumo de energía se caracteriza la movilidad en un centro de actividad. En la caracterización de la movilidad resultaría de gran ayuda contar con patrones estándar de conducta o con funciones que ofrecieran la movilidad dependiendo de varias variables, pero caracterizar la movilidad de antemano sin hacer ese tipo de trabajos de campo es dificultoso ya que a pesar de que la densidad de población, la diversidad del suelo y la proximidad de los servicios influyen de forma muy importante en la movilidad diaria tal y como indica K.Boussauw et al (2011) en su estudio, también lo hacen otros factores que no son magnitudes físicas tales como el tiempo o la distancia a recorrer sino aspectos socioeconómicos como indica R.Gakenheimer (1999) en su estudio que relaciona la movilidad con el PIB. Por ello es fundamental realizar un estudio de caracterización de la movilidad en la zona concreta de estudio. Caracterizar la movilidad requiere: diagnosticar el problema, caracterizar el entorno y analizar del contexto e implicaciones de los problemas detectados tal y como establece la metodología desarrollada por R.Macario et al (2008). Para esta caracterización se empleo el método seguido por S.Barr et al (2012) en el cual se cuenta con la percepción de los usuarios sobre los distintos medios de transporte mediante encuestas para identificar la movilidad y la futura reacción de los usuarios ante las medidas planteadas. Considerando las metodologías desarrolladas en los estudios anteriores de Macario y S.Barr, en los cuales se daba gran importancia a la información de los usuarios y de la percepción de los mismos hacia varias medidas a implantar se realizó la siguiente metodología propia de caracterización.

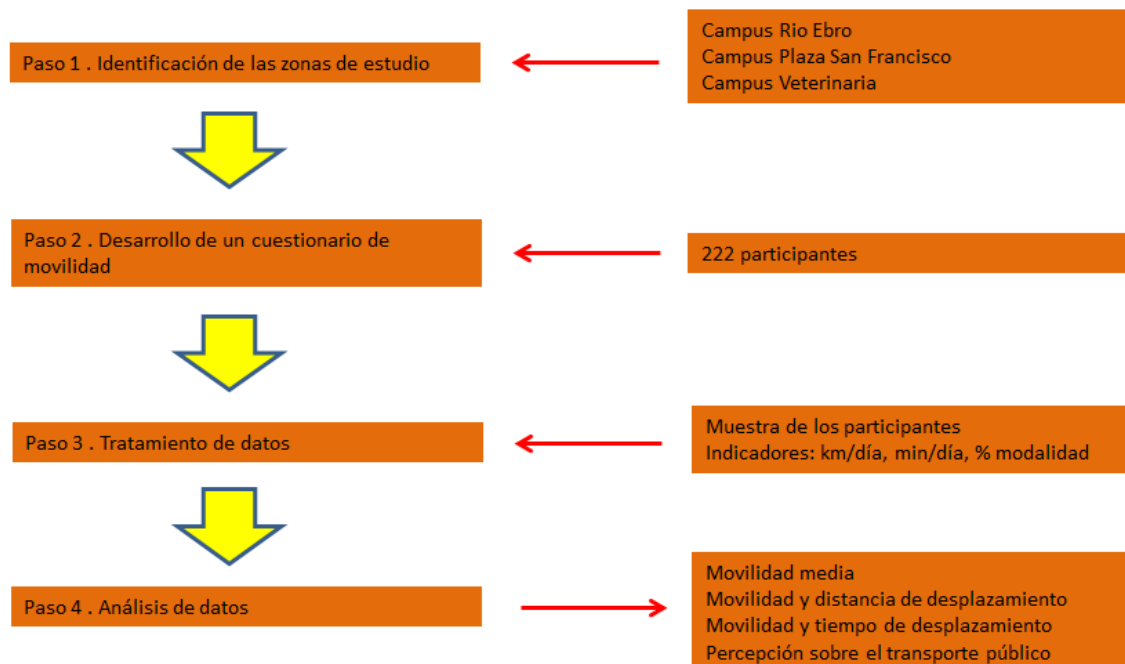


Figura 9: Metodología para la evaluación de la movilidad. Fuente (Elaboración propia)

Modelos sostenibles de transporte urbano

Seguidamente se acoto la zona de estudio, en el caso de estudio se centro en tres Campus Universitarios.

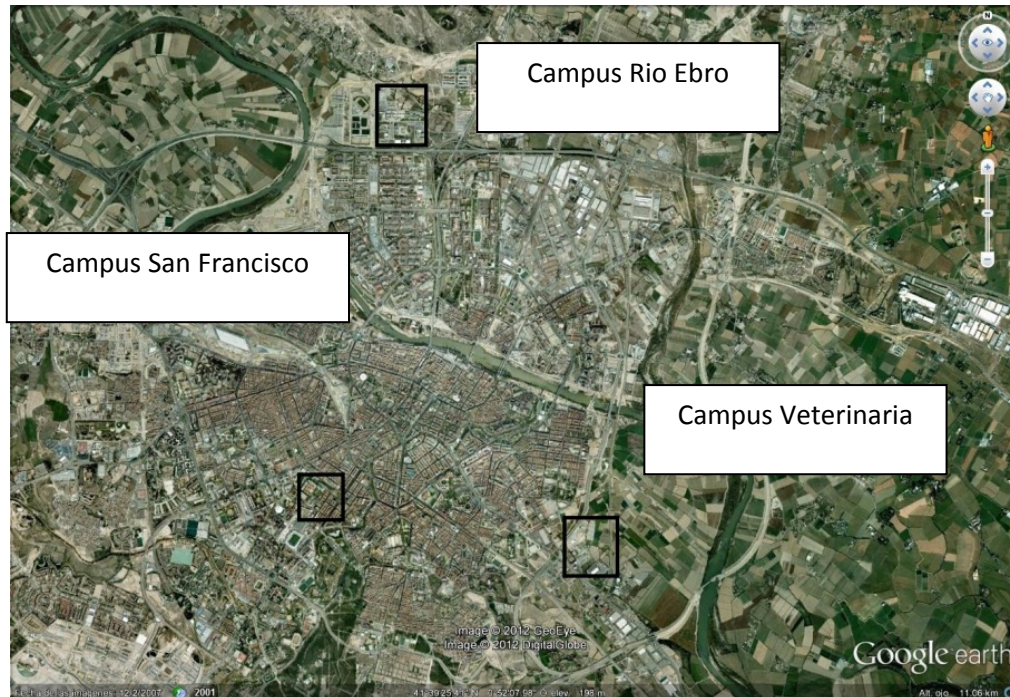


Figura 10: Ubicación de las zonas de estudio. Fuente (Google earth)

Para poder determinar cómo se desplazaban habitualmente las personas que iban a esos centros de actividad, además de magnitudes físicas se determinaron algunas cuestiones sociales tales como la percepción del transporte público u otras alternativas de movilidad

El siguiente paso es desarrollar un cuestionario de movilidad que permita obtener la información más importante para determinar los indicadores del estudio. Para cumplir tal propósito se diseñó un cuestionario cuyas preguntas se adjuntan en el **Anexo I**. Las variables a analizar son: modalidad media de desplazamiento, obtenida como:

$$\text{Modalidad media} = 100 * \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=n} mvp_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{i=n} mb_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{i=n} mt_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{i=n} mbi}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{i=n} mp_i}{n} \right)$$

Dónde:

n = número de participantes
 mvp = modalidad en coche
 mb = modalidad en bus
 mt = modalidad en tranvía
 mbi = modalidad en bici
 mp = modalidad peatón

Distancia y tiempo medio de desplazamiento. Para estas dos últimas variables se caracterizó la movilidad mediante la construcción de unas matrices. En la matriz modalidad - distancia, cada valor kij de la matriz indica en porcentaje la movilidad empleada en el rango de distancia i expresada en kilómetros con el medio de transporte j y la matriz modalidad y tiempo, en la cual en columnas se encuentran los medios de transporte y en filas los rangos de tiempo de desplazamiento.

Modelos sostenibles de transporte urbano

En el caso de la matriz modalidad - tiempo, cada valor kij de la matriz indica en porcentaje la movilidad empleada en el rango de tiempo i expresada en minutos con el medio de transporte j . Disponiendo de esta información y para seguir obteniendo conclusiones sobre el diagnóstico de movilidad se desarrollaron las funciones que representaran la relación entre los distintos medios de transporte mayoritarios empleados (vehículo propio, autobús y no motorizados) y distancia recorrida. De esta forma se pudo conocer que medios de transporte se emplean según los tiempos y distancias de desplazamiento.

Para establecer aspectos económicos sobre los medios de transporte urbano y acotar el ámbito del estudio se realizan dos análisis por separado, en primer lugar se estudian los aspectos económicos asociados al vehículo privado y en segundo lugar los relativos al transporte público, en ambos casos los costes a tratar son los internos. El proceso seguido en esta parte del estudio es el siguiente:

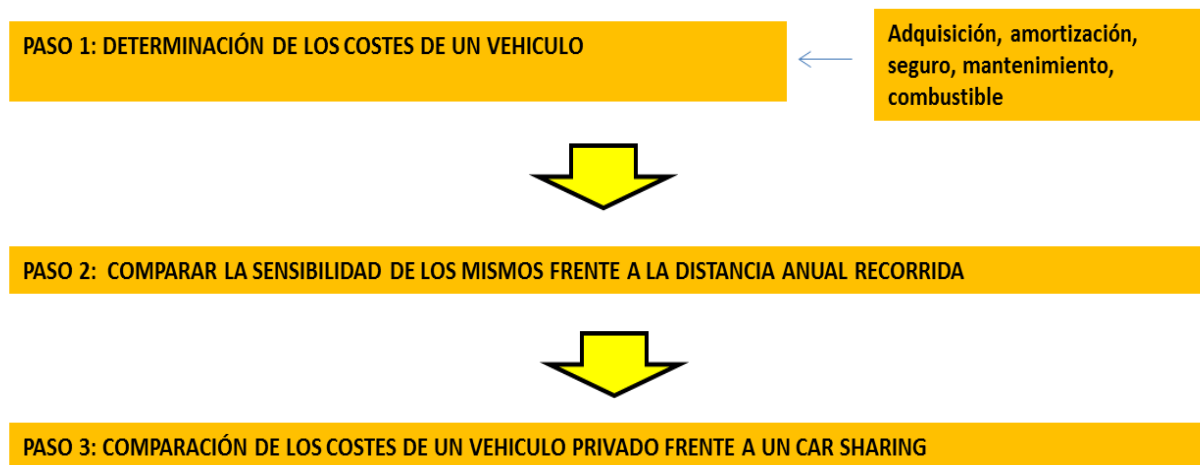


Figura 11: Metodología de estudio de los aspectos económicos del transporte privado. Fuente (Elaboración Propia)

En el caso del vehículo privado se estudian los costes directos de adquisición, mantenimiento y uso del mismo, evaluando la sensibilidad de esos costes frente a la distancia anual recorrida, comparándolo con la opción de uso de un vehículo en modalidad de car sharing. En el caso de los transportes colectivos se analiza la forma de financiación, considerando que los sistemas de transporte público se financian de la siguiente forma:

$$\text{Coste del servicio} = \text{ingresos por venta de billetes} + \text{ayudas de la administración}$$

La rentabilidad de los mismos depende de los ingresos que hay por venta de billetes, pues el coste es fijo y por tanto al aumentar la ocupación se tiene un menor consumo específico de combustible y por tanto mayor rentabilidad del servicio, tal y como indica L.Pelmans et al (2001). Obviamente si se tiene una ocupación baja el consumo específico es muy alto y por tanto la sostenibilidad económica del servicio baja, pues hay poca recaudación por venta de billetes.

Modelos sostenibles de transporte urbano

La metodología de trabajo en esta parte es la siguiente:



Figura 12: Metodología de estudio de los aspectos económicos del transporte público. Fuente (Elaboración propia)

En el caso del transporte público, se comparan las infraestructuras de transporte público puestas a disposición con la evolución de la población, mediante los indicadores de uso del transporte: km/año, pasajeros/año, kWh/km, ocupación e ingresos. Para finalizar se determinara como influye la ocupación de los medios de transporte publico en la recaudación por venta de billetes y por consiguiente en la financiación y sostenibilidad de los medios.

5. Resultados

5.1. Relación existente entre dispersión urbana y consumo de energía

En el **Anexo II** se muestran los datos de las ciudades europeas estudiadas, las relaciones entre los valores de los indicadores son las siguientes:

5.1.1. Relación entre motorización y densidad de población

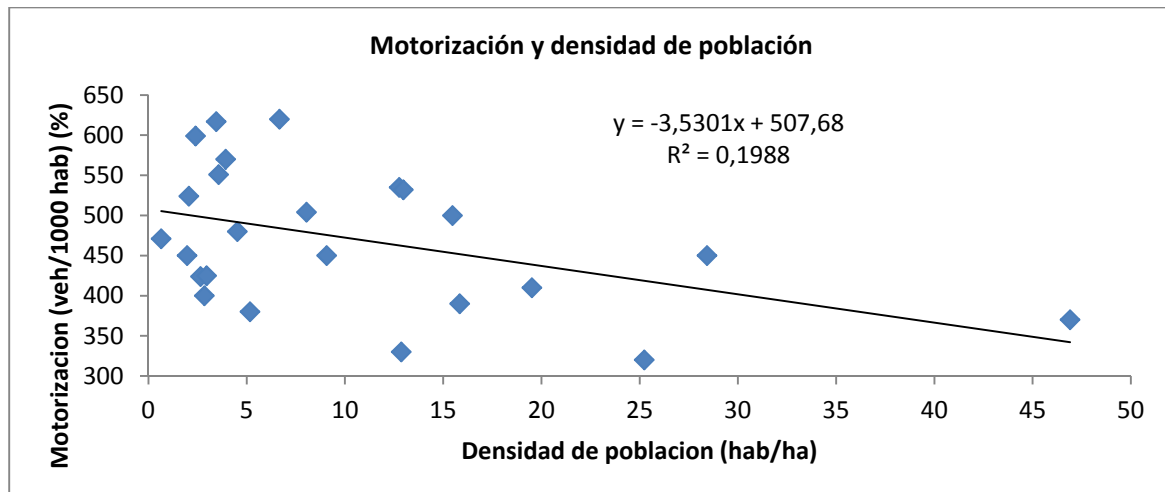


Figura 13: Relación entre motorización y densidad de población. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)

Analizando la relación entre cantidad de vehículos y densidad de población se puede ver como a pesar de la alta dispersión de los resultados, hay una leve tendencia que relaciona esas variables, observándose como en las ciudades en las cuales hay una densidad de población menor, fruto de desarrollos orientados hacia el uso del vehículo se tiene mayor necesidad de disponer de vehículos.

5.1.2. Relación entre uso del transporte público y densidad de población

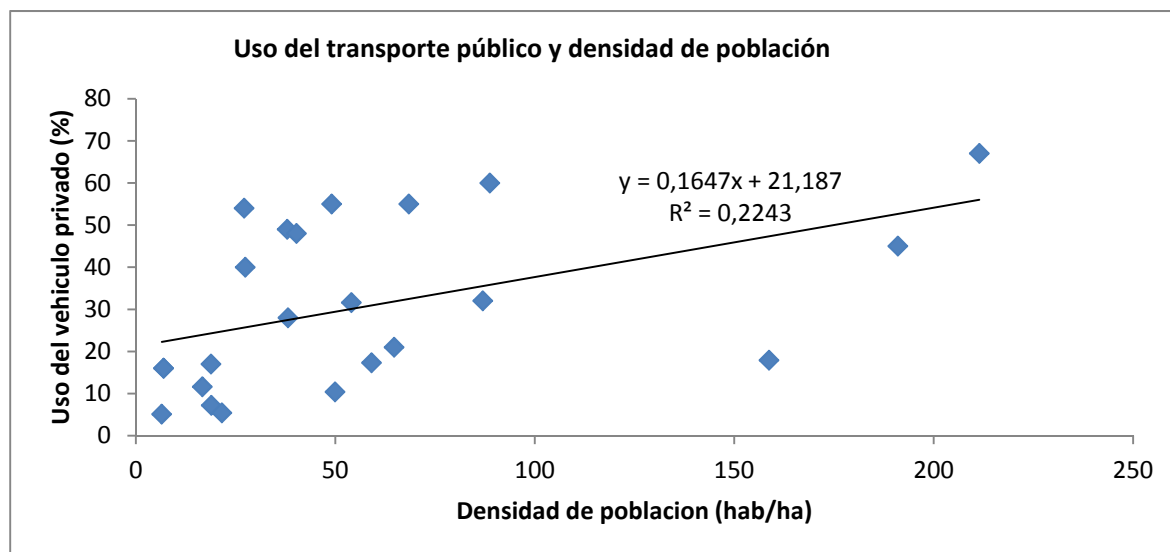


Figura 14: Relación entre el uso del transporte público y la densidad de población. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)

Modelos sostenibles de transporte urbano

Si se observa la relación entre el uso del transporte público y la densidad de población puede verse como en las ciudades que tienen una alta densidad de población se emplea más el transporte público, al igual que en el caso anterior hay una dispersión en los resultados lo que ya evidencia la dificultad de relacionar de la densidad de población únicamente a la movilidad, pero la tendencia claramente indica como dispersión urbana es sinónimo de dependencia del vehículo privado.

5.1.3. Relación entre motorización y uso del transporte público

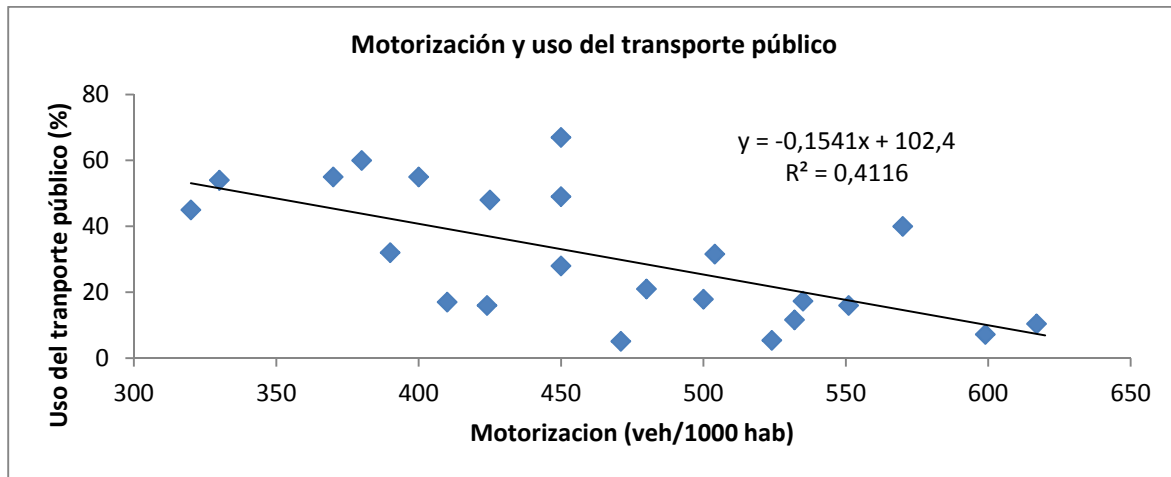


Figura 15: Relación entre motorización y uso del transporte público. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)

Comparando la relación existente entre número de vehículos y empleo del transporte público se aprecia una dependencia mucho mayor, evidenciando como en las ciudades con mayor cantidad de automóviles cae fuertemente el empleo del transporte público como medio de movilidad urbana.

5.1.4. Relación entre aparcamientos disponibles y uso del transporte público

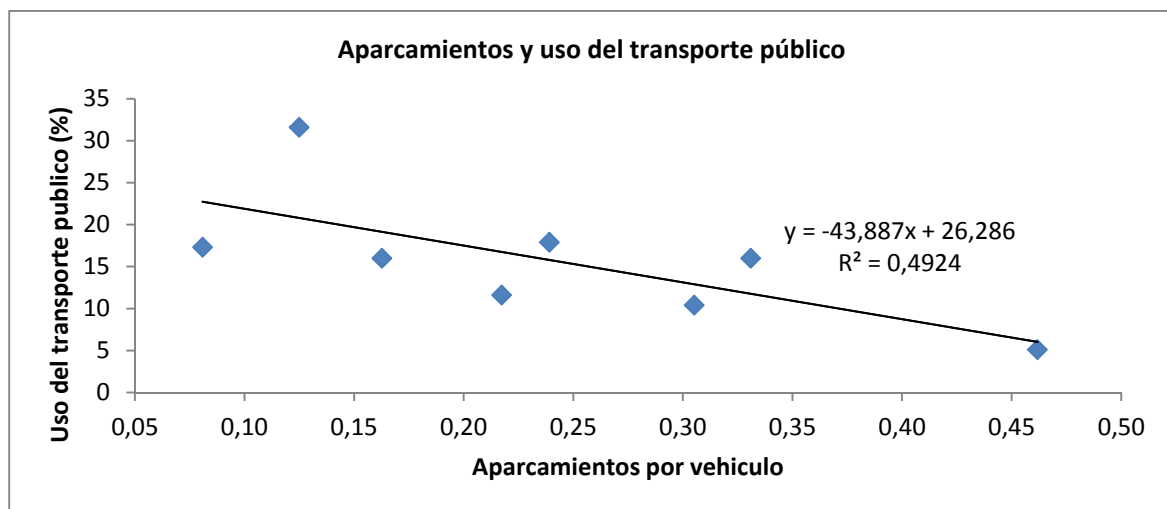


Figura 16: Relación entre disponibilidad de aparcamientos y uso del transporte público. Fuente (Elaboración Propia a partir de datos de Observatorio de la Movilidad Metropolitana y la European Metropolitan Transport Authorities)

Modelos sostenibles de transporte urbano

Por último se decide estudiar como influye la existencia de aparcamientos en el uso del transporte público, viéndose que son inversamente proporcionales, de modo que en las ciudades que disponen de gran número de aparcamientos, tanto regulados como no regulados cae muy fuertemente el uso del transporte público, esto refuerza la idea anteriormente comentada de que el uso de vehículo implica desarrollar infraestructuras para uso que demandan gran cantidad de espacio y fomentan la dispersión de la ciudad.

5.1.5. Relación entre densidad de población y consumos de energía domésticos

En el **Anexo III** se muestran los informes de simulación obtenidos del software URSOS. En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos de demanda de frío y calefacción para cada uno de los casos de estudio:

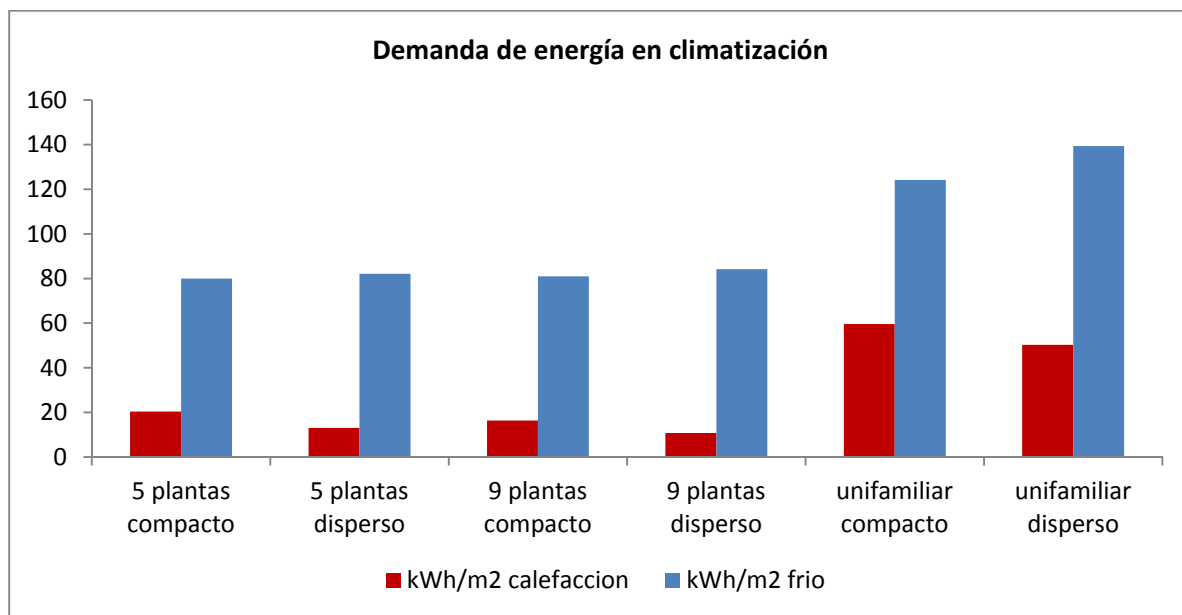


Figura 17: Demanda de energía por climatización en los seis tipos de urbanismo estudiados

Tal y como se muestra la demanda de calefacción menor es la de los edificios de mayor número de plantas con una adecuada separación para tener ganancias solares en los edificios. Se observa el fuerte incremento de energía en los casos de unifamiliares que se asemejarían más a un desarrollo tipo Sprawl, en los cuales la demanda de calefacción ha pasado de valores próximos a 20 kWh/m² y año a cifras superiores a 50 kWh/m². Con la demanda de refrigeración pasa lo mismo, se tiene un fuerte incremento de los diseños multifamiliares al caso de los unifamiliares en los cuales hay 124 kWh/m² y 139 kWh/m² de demanda para los modelos compactos y dispersos respectivamente. Vinculando estos consumos de energía por unidad de superficie de edificio a energía per cápita, según la densidad de población que hay en la parcela. Se tienen los siguientes consumos:

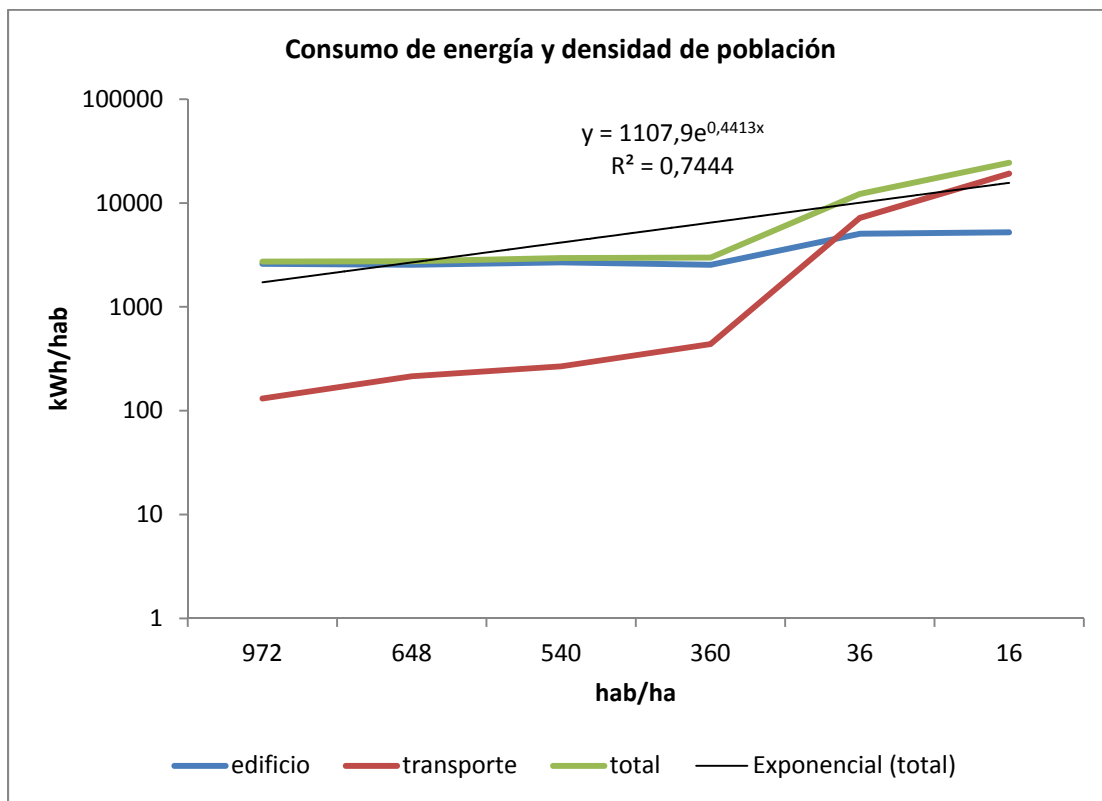


Figura 18: Demanda de energía de transporte y edificación según densidad de población. Fuente (Elaboración propia)

En la figura 18, se representa la dependencia entre consumo de energía (en escala logarítmica) y la densidad de población, viéndose la alta tendencia entre ambas variables que se relacionan de forma exponencial. Se observa como la dispersión urbana dispara el consumo de energía por transporte y por demanda en edificios, de tal forma que hay que minimizar el máximo ese efecto. En los desarrollos de parcelas de edificios con densidades de población superiores a 360 hab/ha los consumos anuales están por debajo de 3.000 kWh/hab*año. A pesar de que compactar la ciudad tenga unos beneficios para el consumo de energía, esta compactación tiene sus límites, pues con una densidad de población de 972 hab/ha se tiene un consumo anual de 2.726 kWh/hab*año y con una densidad de 360 hab/ha se daba un consumo ligeramente superior, 2.976 kWh/hab*año. Ese leve ahorro no justifica una excesiva compactación desde el punto de visto energético, pues existen otros indicadores que miden calidad de vida, muy vinculados a la existencia de zonas verdes, que en los desarrollos compactos se ven muy reducidos por ese hecho.

5.2. Caracterización de la movilidad. Caso de Estudio: Universidad de Zaragoza

Los resultados obtenidos por el estudio se muestran a continuación. En el **Anexo IV** se muestran los valores de la muestra llevada a cabo y el resto de los resultados obtenidos.

Matriz distancia y modalidad

	<i>Coche</i>	<i>Bus</i>	<i>Tranvia</i>	<i>Bici</i>	<i>Pie</i>
< 5 km	7.5	23.5	6.7	11.8	49.9
5 – 10 km	23.8	25.5	5.9	22.1	22.5
10 – 15 km	32.7	29.1	2.8	20.7	13.5
15 – 30 km	36.8	41.6	2.9	6.6	11.9
30 – 50 km	61.6	27	1	1	9.3
> 50 km	80	13.7	0	0	6.3

Matriz tiempo y modalidad

	<i>Coche</i>	<i>Bus</i>	<i>Tranvia</i>	<i>Bici</i>	<i>Pie</i>
< 15 min	16.4	8.2	15	2.7	57.7
15 – 30 min	28.3	17.6	6.5	16.7	30.2
30 – 45 min	45.5	21.8	3	14.7	15.1
45 – 60 min	26.8	26.3	3.7	16.9	25.9
60 – 90 min	20.4	40.9	3.4	12	23.3
> 90 min	19.4	49.7	2.7	6.9	21.3

La representación gráfica de las matrices se muestra en las Figura 19 y Figura 20:

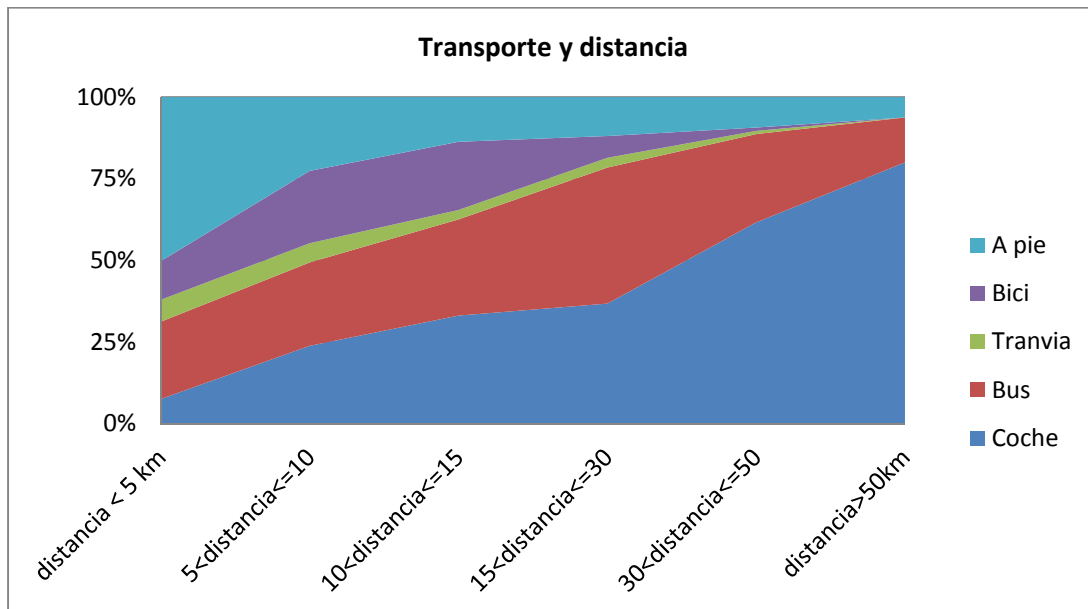


Figura 19: Modalidad y distancia diaria. Fuente (Elaboración Propia)

Viendo los resultados mostrados por la Figura 19 se observa como a medida que se tiene una distancia mayor de desplazamiento el vehículo privado va desplazando al resto de medios de transporte. Destaca como los medios de transporte urbano colectivo como el autobús descienden fuertemente su participación para las distancias superiores a 30 km diarios.

Modelos sostenibles de transporte urbano

Los valores que se tienen de emplear la modalidad a pie para distancias muy largas son debidos a los desplazamientos que hay que hacer desde el lugar de aparcamiento al centro de actividad para quienes hacen esas distancias diarias.

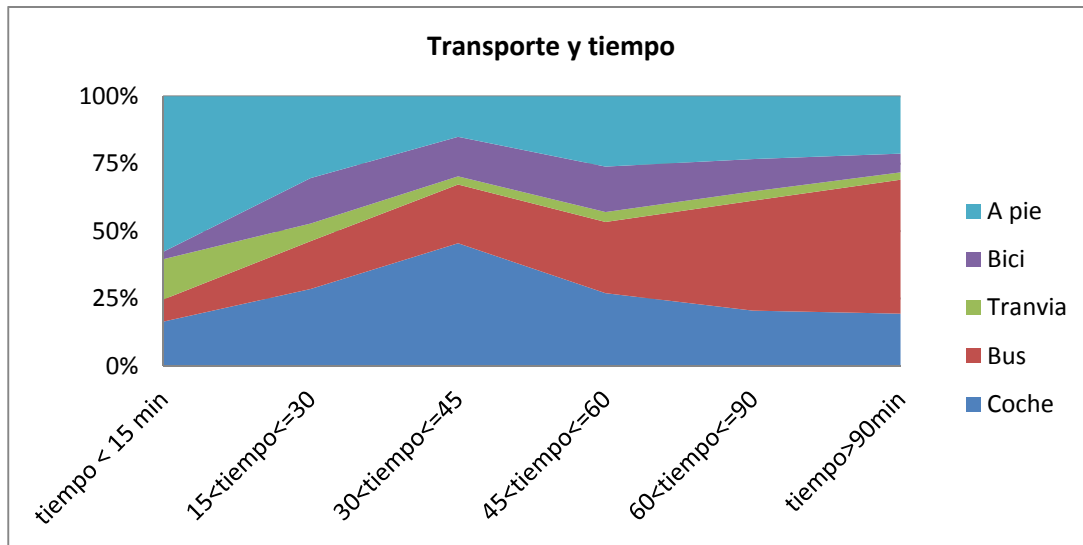


Figura 20: Modalidad y tiempo diario de desplazamiento. Fuente (Elaboración Propia)

De la figura anterior se muestran datos muy interesantes, como por ejemplo que quienes más tiempo emplean en la movilidad diaria se debe el empleo del autobús como medio, además destaca como a partir de tiempos de desplazamiento superiores a 45 minutos el empleo del coche desciende. La representación de la distancia y la modalidad se muestra en la Figura 21.

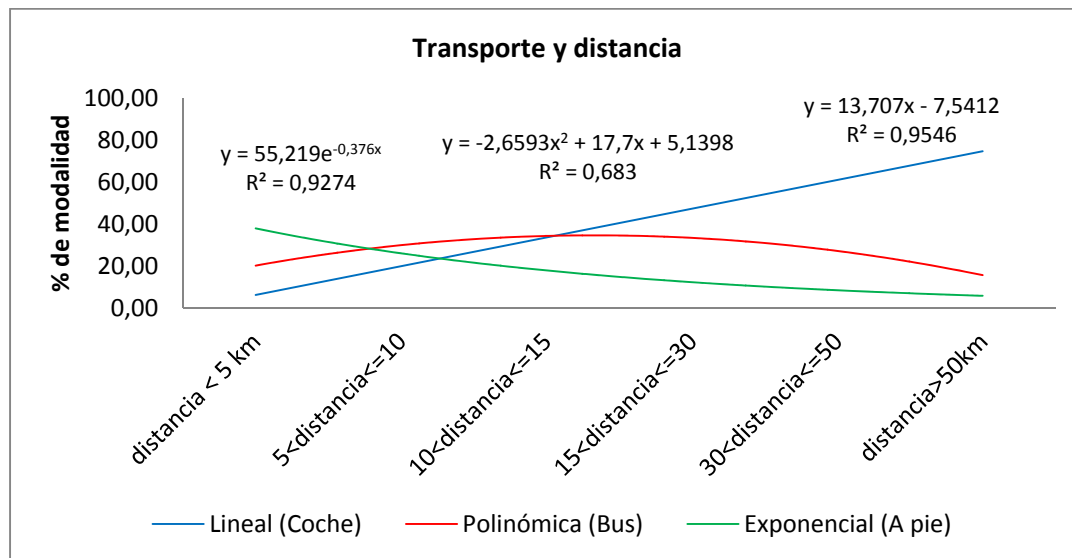


Figura 21: Relación entre diferentes opciones de movilidad y la distancia a recorrer. Fuente (Elaboración propia)

Las funciones obtenidas que relacionan la movilidad y la distancia en la zona de estudio son las siguientes:

Movilidad a pie (distancia): $y = 55.220 * e^{-0.376x}$

Movilidad en coche (distancia): $y = 13.707x - 7.5412$

Movilidad en bus (distancia): $y = -2.6593x^2 + 17,7x + 5.1398$

Modelos sostenibles de transporte urbano

Obteniendo los puntos de corte de dichas funciones se tiene que quienes hacen más de 10.3 km al día emplean mayoritariamente el vehículo privado en su movilidad, quienes hacen menos de 3.93 km al día emplean mayoritariamente ir a pie en su movilidad y los que se encuentran en el rango entre 3.93 km y 10.3 km usan el autobús de forma mayoritaria para su movilidad.

5.3. Costes del vehículo privado y el transporte público. Caso de Estudio: Transporte Público de Zaragoza.

5.3.1. Consideraciones económicas sobre el vehículo propio

En primer lugar se consideran cuales son los costes de disponer de un vehículo propio, para ello se van a tener los siguientes datos:

Concepto	Valor
Adquisición (€)	12.200 ⁴
Seguro (€/año)	718 ⁵
Mantenimiento (€/año)	560
Consumo (l/100 km)	5,2
Vida útil (años)	10 ⁶
Aparcamiento (€/año)	720
Combustible (€/l)	1,5

Tabla 9: Aspectos económicos de un vehículo. Fuente (Elaboración propia)

Con estas consideraciones se calcula cual es la distribución de los coste de tener un vehículo en función del kilometraje anual realizado.

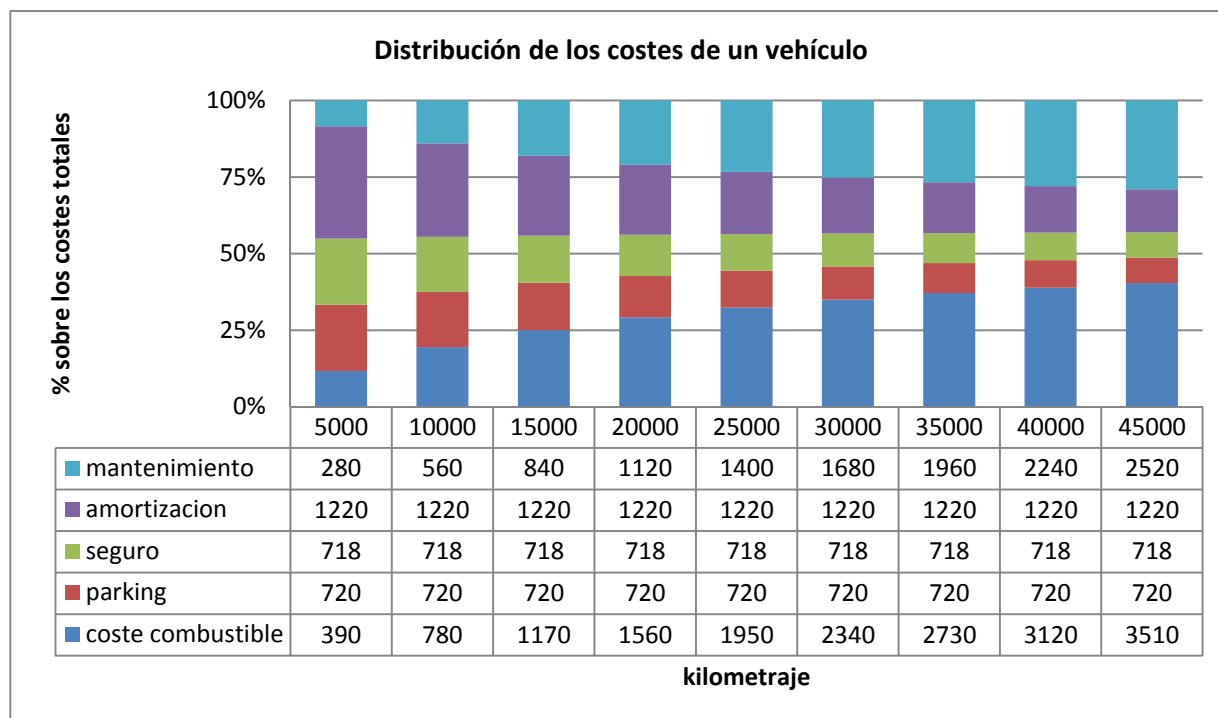


Figura 22: Distribución de los costes de un vehículo según distancia anual recorrida. Fuente (Elaboración propia)

⁴ www.citroen.es empleado ese modelo al ser el vehículo mas vendido en España en el 2011.

⁵ Costes obtenido a partir del comparador de seguros www.acierto.com

⁶ Vida media del parque automovilístico. ANFAC, estadísticas 2011.

Modelos sostenibles de transporte urbano

Se observa como el coste en amortización del propio vehículo es el mayor de los costes para distancias inferiores a 15.000 km anuales, en cambio conforme aumenta el kilometraje el combustible y el mantenimiento se hacen los valores más altos pasando de un coste en combustible de 390 € anuales a 3.510 € si el kilometraje anual pasa de 5.000 a 45.000 kilómetros anuales. Si se tiene en consideración que la distancia media anual recorrida por un conductor europeo es de 9.800 km (*Mercedes Benz, 2009*) se concluye que en la mayoría de las ocasiones disponer de un vehículo no es excesivamente rentable pues el mayor de los costes de su posesión es su propia amortización. Debido a esto se decide comparar la evolución del coste de un vehículo frente al uso de un vehículo de car sharing en función de los kilómetros recorridos.

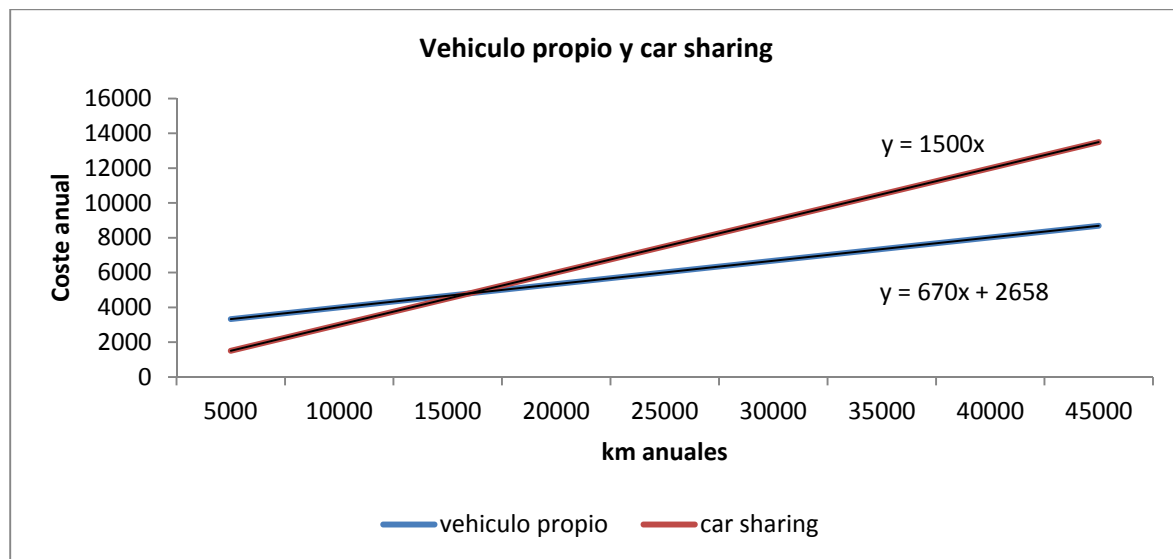


Figura 23: Coste de un vehículo privado y car sharing. Fuente (Elaboración propia)

Con esos valores se tiene que es preciso hacer 16.000 km anuales para que sea más rentable disponer de un coche que emplearlo en la modalidad de car sharing. Evidentemente la disponibilidad inmediata del mismo es un factor determinante para su adquisición pero ha de servir para reflexionar como en la mayoría de las ocasiones es más rentable alquilar que poseer un coche. Si unimos esta idea con el que un vehículo está la mayor parte del tiempo parado se tiene además otro factor y es que muchos vehículos se fabrican y no se amortizan energéticamente jamás, pues la energía que cuesta fabricarlos no se compensa a pesar de la evolución de la mejora de la eficiencia de los vehículos. En la actualidad un coche debería de ser usado durante 20 años si recorre una media de 15.000 km anuales (*A.Aranda et al, 2011*) para ser amortizado energéticamente y como se ha visto con anterioridad no solamente la vida media del parque automovilístico es muy inferior sino también el kilometraje medio anual. La disposición de un vehículo desde el punto de vista de su productividad y prestaciones es muy cuestionable también pues calculando la productividad u horas equivalentes de un vehículo que recorre 9.800 km al año, tiene un consumo de 5,2 l/100 km y una potencia de 90 CV se tiene que esta es:

$$Productividad = \frac{\text{Consumo de energía anual (kWh)}}{\text{Potencia máxima (kW)}} = 137 \text{ horas}$$

Los resultados evidencian el bajo uso de los vehículos, pues su productividad considerando su disponibilidad de potencia es de un 1,5 % del tiempo. Tras lo visto se concluye como la posesión de un vehículo es cuestionable desde el punto de vista energético y económico pues tiene un alto coste de energía su fabricación y el uso del mismo es muy bajo, tanto en distancia anual como en horas.

5.3.2. Consideraciones económicas sobre el transporte público

Comparando la evolución del transporte público y de la población de la ciudad de Zaragoza a lo largo de los últimos años, desde 2001 a 2011, se tiene la siguiente gráfica:

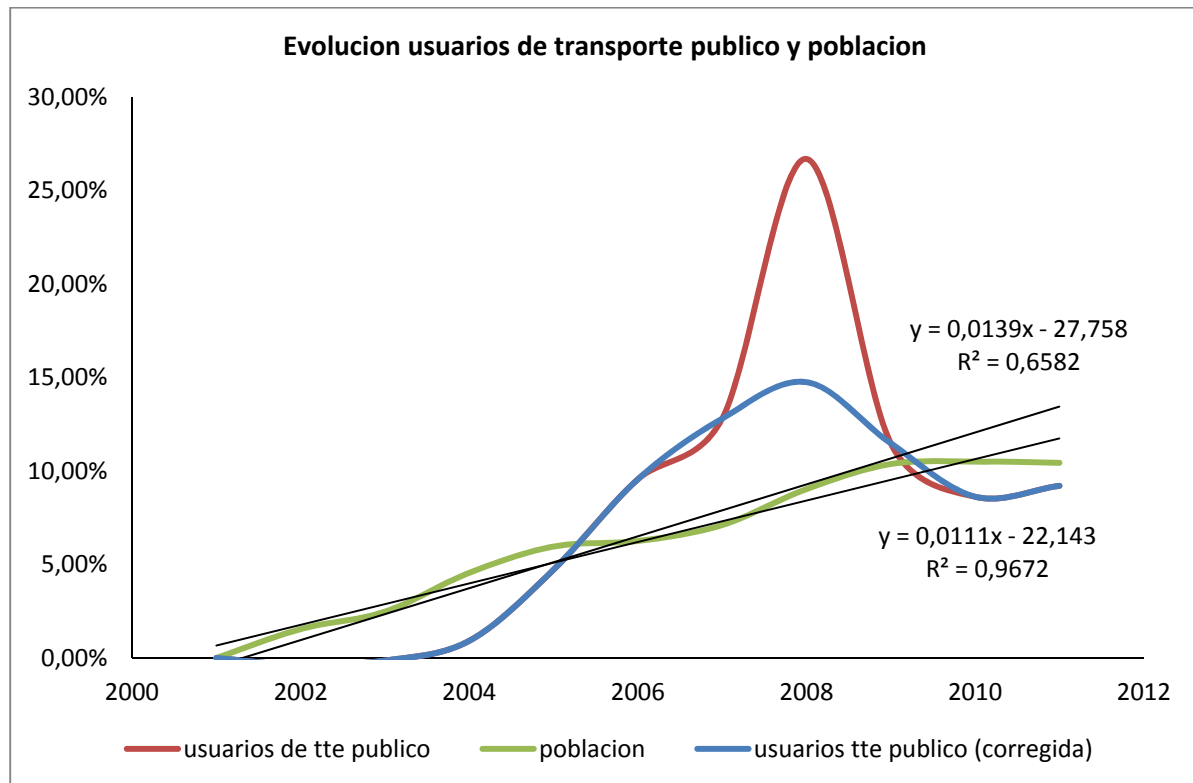


Figura 24: Evolución de la población y usuarios de transporte público. Fuente (Elaboración Propia)

Es significativo ver como fenómenos como la Exposición Universal de 2008 propiciaron un aumento puntual de los usuarios del transporte gracias a la flexibilidad del autobús, por ello se ha decidido realizar una curva que expresa la demanda de usuarios de ese año corregida, obviando este hecho puntual de la Exposición Universal. Se refleja un descenso de usuarios en los últimos años también como consecuencia de la actividad económica aunque es cierto que hay mas oferta en el transporte al estar el tranvía en funcionamiento desde abril de 2011. Se observa la similitud de crecimiento de la población y de los usuarios de transporte público aunque la oferta de transporte ha aumentado más y en gran medida al disponerse de tranvía desde el último año. En cifras en el año 2011 se registraron 118.958.000 usuarios del transporte público, habiendo de remontarse hasta 2005 para encontrar una cifra inferior. Esta idea se complementa con los datos de kilómetros recorridos por el transporte público, ya que a pesar de que el aumento de usuarios del transporte público respecto a 2001 ha sido de un 9,3 %, el crecimiento de la cantidad de kilómetros recorridos por los medios de transporte público ha sido de un 23 %, pasando de 17.000.000 de km en 2001 (CCOO, 2011) a 20.919.789 en 2011 entre tranvía y autobús. Esto evidencia como las políticas que incorporan más oferta en el transporte no necesariamente provocan un aumento en la elección de la modalidad de transporte público para los desplazamientos habituales. Seguidamente se decide caracterizar los medios de transporte colectivos de la ciudad, tranvía y bus, estudiando su ocupación y distancia anual recorrida. Las cifras más significativas son las siguientes.

Modelos sostenibles de transporte urbano

	Tranvía	Bus
km/año	659.420 ⁷	20.260.369
Pasajeros/año	11.500.000	118.323.872

Tabla 10: Datos de pasajeros y desplazamientos de la red de transporte urbano. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de A.Moreno, 2012)

A partir de estos valores se decide comenzar a extraer información sobre las infraestructuras, consumos y ocupación de los medios, en la Tabla 11 se muestran los indicadores seleccionados para comenzar con el estudio y sus valores.

	Tranvía	Bus
Nº vehículos	21,00	380,00
Máxima capacidad por coche	200,00 ⁸	80,00 ⁹
Ancho x largo	2,65 x 33	2,50 x 12
kWh/km	5,00	6,34
Pasajeros/km	17,44	5,84
Factor de ocupación (%)	8,72	7,30
Real m2/pasajero	5,01	5,14

Tabla 11: Indicadores y valores de los medios de transporte. Fuente (Elaboración propia a partir de L.Pelmans et al, 2001)

De los valores de la Tabla 11 destaca la baja ocupación tanto del tranvía como del autobús estando su ocupación media en un 8,72% y un 7,30 % respectivamente. Para determinar cómo influyen las condiciones de ocupación en los aspectos económicos se calculan los principales indicadores económicos que reflejen la situación de ambos medios de transporte. En la Tabla 12 se muestran los principales valores. Se puede observar de forma media que el usuario de bus y tranvía abona el 49 % del importe necesario para mantener el transporte.

	Bus	Tranvía
Ingresos ayto (M€)	48,3	4,8 ¹⁰
Ingresos viajeros (M€) ¹¹	46,7 ¹²	4,7
Ingresos Total (M€)	95	9,5
Pasajeros	118.323.872	11.500.000
Coste €/billete paga ayto	0,41	0,42
Coste €/billete paga pasajero	0,39	0,41
Coste €/billete real	0,80	0,83
Coste €/km desplazado	4,69	14,41
% billete paga usuario	49,2 %	49,4 %

Tabla 12: Datos económicos de los distintos medios de transporte público. Fuente (Elaboración propia)

⁷ www.tranviasdezaragoza.es/informacion-usuario/preguntas-frecuentes

⁸ www.tranviasdezaragoza.es/informacion-usuario/preguntas-frecuentes.

⁹ www.irisbus.com/en-us/PRODUCTS/Pages/DataSheet.aspx

¹⁰ Presupuestos 2011 Ayuntamiento de Zaragoza

¹¹ www.zaragoza.es/ciudad/consumo/detalle_Noticia?id=139932

¹² www.heraldo.es/noticias/zaragoza/el_ayuntamiento_quiere_introducir_progresividad_las_tarifas_del_transporte_urbano_168579_301.html

Modelos sostenibles de transporte urbano

La cifra necesaria para que, considerando la ocupación actual, el usuario pague el coste del servicio es de 0,8 € y 0,83 € para bus y tranvía respectivamente. El coste del billete sencillo actual es de 1,25 € por lo que en ambos casos sería holgadamente suficiente para sufragar el coste real del servicio, pero dado la gran cantidad de abonos y modalidades existentes el coste real por billete es muy inferior, ya que el usuario habitual de los medios de transporte público emplea los abonos.

En la Figura 25 se muestran los costes de los abonos, los cuales son idénticos para bus y tranvía, el coste real del servicio tanto para bus como tranvía y el precio al cual sale el billete dependiente de si el usuario emplea el transporte 1, 2, 3 o 4 veces al día. Es preciso destacar que las tarifas de bus y tranvía son iguales.

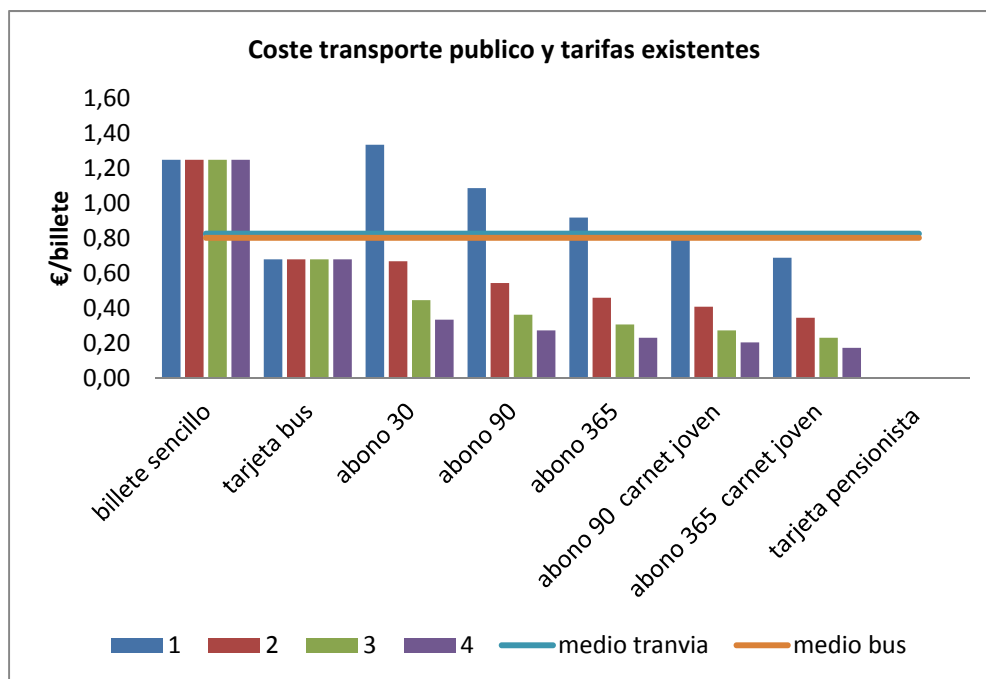


Figura 25: Coste del billete según modalidad de abono y uso. Fuente (Elaboración Propia)

Se observa como solamente el billete sencillo recoge los costes reales y el resto de modalidades ya son deficitarias, la tarjeta bus recoge 0,68 €/billete por debajo tanto del bus como del tranvía. Como muestra, un usuario que emplee 3 veces al día el transporte público y tenga un abono 365 joven paga por el servicio 0,2 €/billete estando esta cifra muy por debajo del coste real. Evidentemente el transporte cumple una misión social por lo que es muy importante equilibrar la sostenibilidad económica del servicio con la social, por ello se ha decidido evaluar como deberían de aumentar la ocupación de los medios para que los viajeros que emplean el transporte pagaran el 100 % de los costes reales. Esto servirá para saber cuánto y cómo se debe de fomentar la ocupación de los medios de transporte para que mediante la venta de billetes se ingrese la cantidad necesaria para mantener el servicio.

Modelos sostenibles de transporte urbano

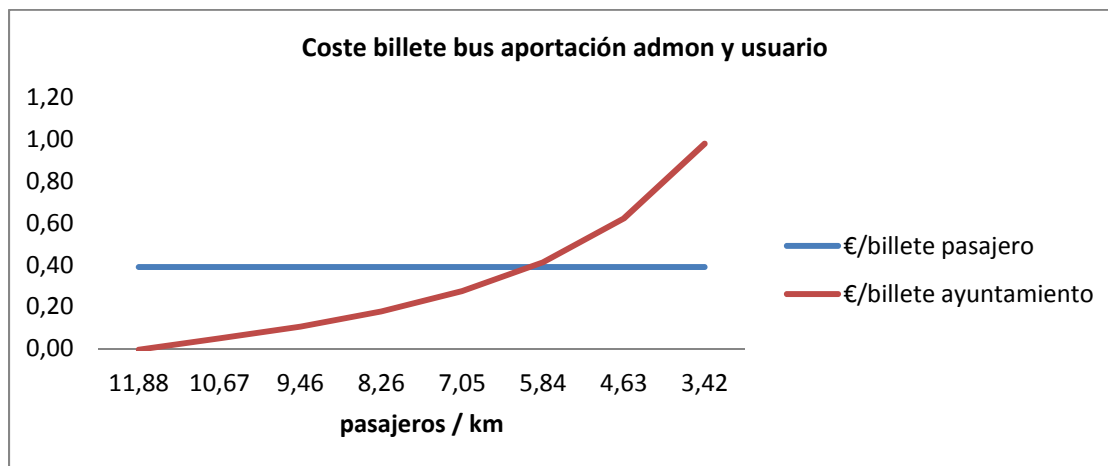


Figura 26: Evolución de los costes asumidos por usuario y ayuntamiento en función de la ocupación. Caso Bus.
 Fuente (Elaboración Propia)

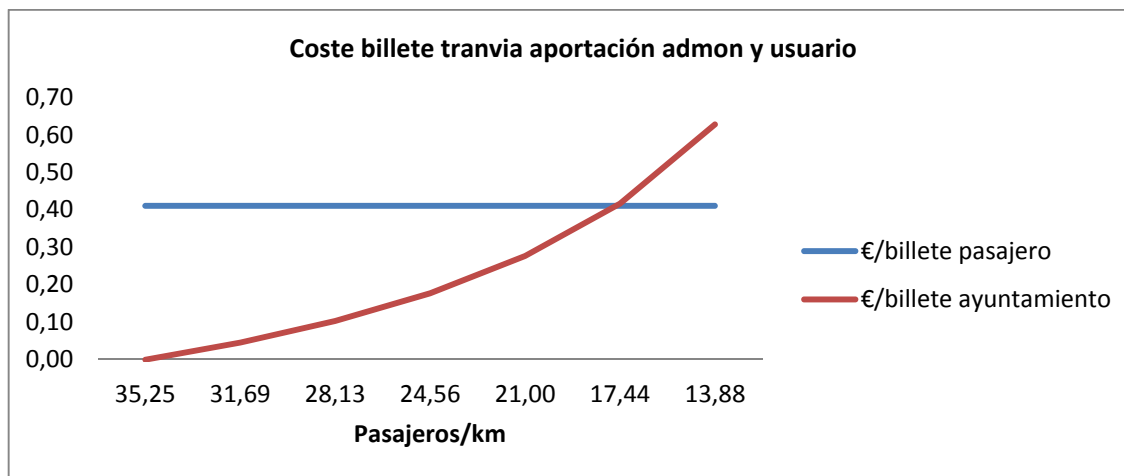


Figura 27: Evolución de los costes asumidos por usuario y ayuntamiento en función de la ocupación. Caso Tranvía.
 Fuente (Elaboración Propia)

Para que los usuarios cubrieran el coste íntegro del servicio sería preciso tener 11,88 pasajeros / km y 35,25 pasajeros / km en el bus y tranvía. Esto se lograría con un aumento en la ocupación de un 203 % y un 197 % respectivamente. A su vez cuanto menos se fomente el uso del transporte público se ve como la situación se tornará más insostenible al tener las empresas de transporte menos ingresos derivados de la venta de billetes. Para finalizar se calcula el coste del servicio con la actual ocupación en función de la distancia recorrida, teniéndose los siguientes valores:

	Bus	Tranvía
€/billete	0,80	0,83
Coste €/km desplazado	4,69	14,41

Tabla 13: Costes del transporte público. Fuente (Elaboración propia)

De estos valores se concluye como resulta fundamental fomentar la ocupación de los medios. En la mayoría de las políticas de transporte presentadas por los diferentes gobiernos centrales se tiende a aplicar medidas con el argumento de que el transporte sea más sostenible y eficiente sin embargo estas medidas no se crean con eficacia para tener un transporte bien interconectado y a un coste razonable que permita viajar de forma ágil y económica en la ciudad (A.Hull, 2007).

Modelos sostenibles de transporte urbano

Esta baja ocupación de los medios no solamente tiene asociados problemas de sostenibilidad económica sino también de mala gestión energética de los servicios. Como ejemplo se deciden comparar las emisiones de CO₂ por pasajero y kilómetro de los medios de transporte colectivo con un vehículo medio.

	Vehículo propio	Bus	Tranvía
Consumo l/100 km	5,2	73,44	---
kWh/km	0,45	6,34	5
kgCO ₂ /km	0,14	1,34 ¹³	1,2
Pasajeros/km	1,2	5,84	17,44
Gr CO ₂ /km y pasajero	112,6	228,8	68,8

Tabla 14: Valores para empleados para el estudio, en el caso del vehículo privado. Fuente (Elaboración propia a partir de datos de L.Pelmans et al, 2001; A.Moreno, 2012; CCOO, 2011 y CAF)

Los resultados se muestran en la Figura 28.

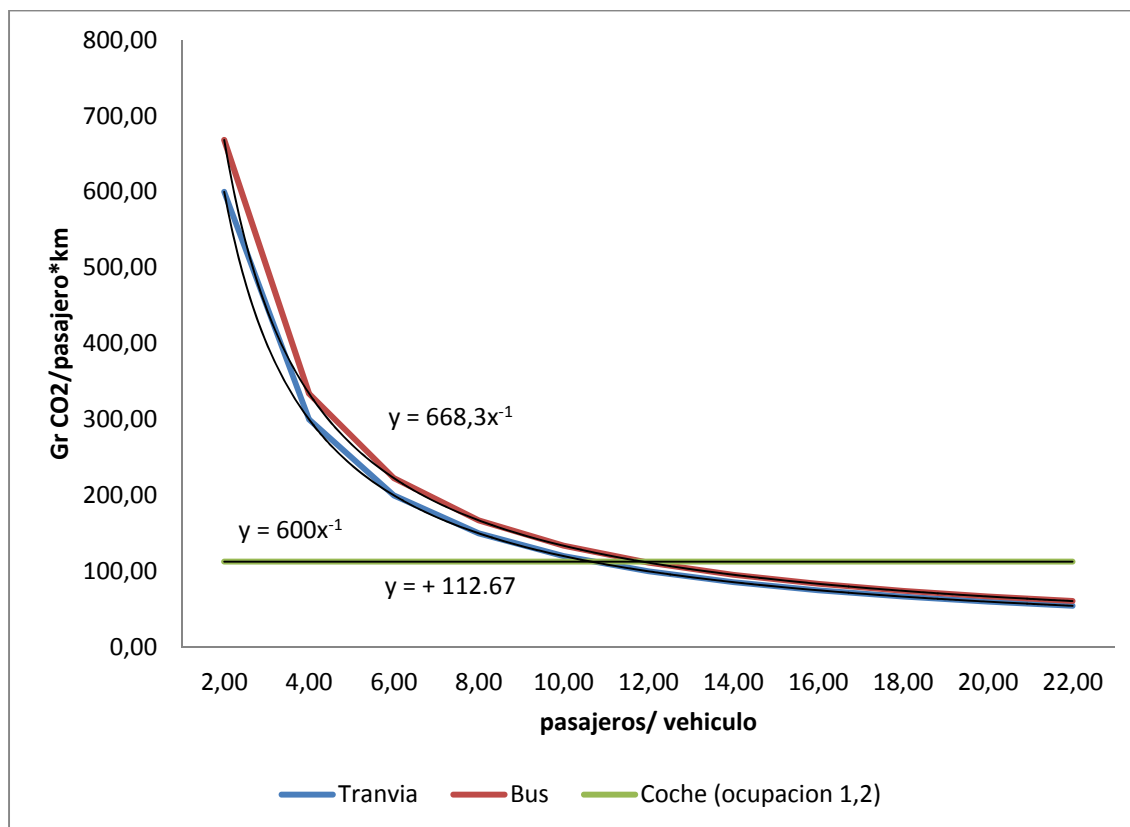


Figura 28: Emisiones de CO₂/pasajero y km frente a la ocupación de los medios y comparativa con vehículo privado. Fuente (Elaboración propia)

Puede verse como en el caso del Tranvía y el Bus se requieren 10,71 y 11,92 pasajeros/km para ser menos contaminante que el vehículo privado y en la actualidad solamente el tranvía supera esta cifra, quedando muy lejos en el caso del bus donde la ocupación media es de 5,84 pasajeros/km.

¹³ Considerando un combustible con un 30 % en volumen de biodiesel.

6. Conclusiones

Existe una clara relación entre la morfología de las ciudades y los hábitos de movilidad, quedando de manifiesto como una baja densidad de población provoca una excesiva motorización y un menor uso del transporte público. El aumento de la motorización provoca también un aumento de las infraestructuras asociadas a su uso, como los aparcamientos generando un desplazamiento de los medios de transporte colectivo.

El desarrollo de infraestructuras asociada a los vehículos no solamente tiene un coste cuantificable en superficie sino también en energía pues dicha superficie queda inoperativa para desarrollar otras actividades como cultivos de alimentos, provocando además un aumento del tamaño de la ciudad y por tanto una dispersión de la población.

En el desarrollo de nuevos planes urbanísticos hay que considerar las implicaciones que estos tendrán en la movilidad de las personas, pues cuanto menor es la densidad de población más se aumenta el índice de motorización y la distancia anual a recorrer, siendo de gran importancia evitar el Sprawl en los mismos. Diseñar parcelas en urbanizaciones residenciales con densidades de población próximas a 360 hab/ha es una cifra óptima, pues permite que los consumos en edificación sean adecuados y los de transporte no sean demasiado elevados, siendo la suma de ambos próxima a los 3.000 kWh/hab*año.

Los planes de movilidad son herramientas que permiten evaluar y diagnosticar la movilidad en un centro de actividad para proponer opciones de mejora. Para su desarrollo es vital caracterizar la movilidad mediante el empleo de indicadores que midan aspectos sobre las infraestructuras de los medios de transporte, concentración de la población tanto en la ciudad como en las áreas metropolitanas, densidad de población, motorización y uso del transporte público. Resulta de gran ayuda para llevar a cabo la caracterización de la movilidad el uso de las matrices movilidad-distancia y movilidad-tiempo.

La promoción del transporte público es vital para mejorar la sostenibilidad del transporte en los entornos urbanos, por eso resulta de gran importancia impulsar medidas que desincentiven el uso del vehículo privado y fomenten la ocupación del transporte público. El aumento de la ocupación del transporte público no solo mejorará la movilidad sino que también mejorará aspectos económicos asociados al mismo, pues el servicio de transporte público se mantiene con una aportación aproximada de un 60 % del coste mediante financiación por parte de la administración, de tal forma que su incentivo no solo repercutirá en una mejora de la calidad de vida en los entornos urbanos sino en una mejora en la viabilidad económica del servicio.

Estudiando la movilidad mediante el uso del vehículo privado se concluye como tiene varios problemas asociados tales como la demanda de 40 m² de espacio por persona y día, cifra diez veces mayor que la demandada por transportes colectivos. Además los vehículos actuales tienen una alta potencia y tamaño, lo que provoca que a pesar de tener mayor eficiencia en el motor, no tengan las mejores características para ser empleados en entornos urbanos y los fabricantes deberían de diseñar vehículos más adecuados para las condiciones urbanas. Por último, la movilidad en vehículo privado es muy cuestionable desde la perspectiva energética y económica, pues la disponibilidad de los vehículos supone un coste medio anual de 5.000 € de los cuales el 1.220 € van destinados a la propia amortización del vehículo. Para realizar la movilidad urbana mediante automóviles existen alternativas al vehículo privado más viables, como el car sharing, el cual en desplazamientos anuales inferiores a 16.000 km presenta mayor rentabilidad que la adquisición de un automóvil.

Modelos sostenibles de transporte urbano

De este estudio también se obtienen como conclusiones futuras líneas de investigación a abordar en materia de movilidad urbana como las siguientes:

- Desarrollo de una metodología que permita determinar los costes externos del transporte, analizando el impacto de cada uno de los factores que influyen en él, para poderlos distribuir en el sector del transporte.
- Influencia de los factores económicos en la movilidad en los entornos urbanos. Una alta renta per cápita influye en la movilidad de las personas, por ello sería de gran utilidad analizar cómo influyen esas cuestiones para que las ciudades tuvieran las infraestructuras más atractivas para los ciudadanos, optimizando la inversión en las mismas para que sean rentables.
- Desarrollo de modelos sostenibles de urbanismo que ofrezcan como debe de realizarse el desarrollo urbano de una ciudad en función de los parámetros de influencia en la movilidad de esa misma ciudad.
- Impacto de la movilidad eléctrica en las ciudades. Dado el gran papel que puede desempeñar el vehículo eléctrico en la movilidad a medio plazo y debido a las grandes aptitudes para mejorar la calidad de vida en las mismas, como su baja sonoridad y la ausencia de emisiones directas. Sería de gran interés evaluar el modelo de desarrollo que deberían de tener los sistemas de carga autónomos, las electrolineras y las infraestructuras de los mismos para que se realizará una migración hacia la movilidad eléctrica resulta de gran interés.
- Análisis de ciclo de vida del transporte para evaluar el coste energético de las infraestructuras asociadas a cada medio de transporte, sirviendo para evaluar la viabilidad energética de las infraestructuras necesarias para satisfacer la movilidad.
- Impacto de nuevos medios de movilidad urbana, considerando las cualidades específicas que deberían de tener los automóviles para satisfacer la movilidad urbana, como su tamaño, peso y potencia.

7. Referencias

- A.Aranda, A.Valero,I.Zabalza, S.Scarpellini,E.Llera. "Energy efficiency in transport and mobility from an eco-efficiency viewpoint". Energy, vol 36.April 2011. pp 1916-1923
- Alejandro Moreno. "La Revolución del Tranvía en el Transporte Sostenible". Semana de la Movilidad de la Universidad de Zaragoza. Abril 2012.
- Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC). <<http://www.anfac.com/estad.htm>>
- Angel Cediel. "Movilidad sostenible en el entorno urbano. Transporte, ahorro y eficiencia". Junio 2009.
- Antonio Nelson Rodrigues da Silva, Marcela da Silva Costa, Marcia Helena Macedo. "Multiples views of sustainable urban mobility: The case of Brazil". Transport Policy, vol 15. pp 350-360.
- Becker, U. Gerike r, Rau, Zimmermann "Ermittlung der kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen, Hauptstudie, Arbeitsstand" 11/2001. Dresden: saxon State agency for environment and geology.
- Ben Janke, John S. Gulliver and Bruce N. Wilson. "Development of Techniques to Quantify Effective Impervious Cover, Center for Transportation Studies". (2011) University of Minnesota at <www.cts.umn.edu/Publications/ResearchReports/reportdetail.html?id=2058>
- Breto S., Turégano J.A., Uriel A. "Energía solar y datos climáticos en Aragón: revisión y actualización para el diseño de instalaciones y edificios". Editado por Diputación General de Aragón - Departamento de Industria, Comercio y Turismo y Universidad de Zaragoza. ISBN: 978-84-8380-090-4. Zaragoza, 2008.
- Brian Stone, Jeremy J. Hess, Howard Frumkin. "Urban Form and Extreme Heat Events: Are Sprawling Cities more Vulnerable to Climate Change than Compact Cities?". Environmental Health Perspectives. 2010.
- CAF. "La solución al tranvía sin catenaria"
- <www.caf.es/img/prensa/notprensa/20100609092756actualidad_ferroviaria_2.pdf>
- Deleware Valley Regional Planning Commission (DVRPC) "Making the Land Use Connection: Regional What-If Scenario Analysis". 2008 at <www.dvrpc.org/asp/pubs/reports/08059.pdf>
- Diagnosis de la red actual de transporte urbano de Zaragoza y propuestas de mejora. Septiembre 2011. Promotio del Transporte Público, CCOO, ECODES.
- Evert J. Meijers and Martijn J. Burger. "Urban Spatial Structure and Labor Productivity in U.S. Metropolitan Areas". Regional Studies Association annual conference 'Understanding and Shaping Regions: Spatial, Social and Economic Futures. Leuven, Belgium, April 6-8 (2008); at <<http://www.regional-studies-assoc.ac.uk/events/2009/apr-leuven/papers/Meijers.pdf>>
- Eric Damian Kelly. "The Transportation Land-Use Link,". Journal of Planning Literature, vol. 9. Nov. 1994, pp. 128-145.
- European Metropolitan Transport Authorities (EMTA). "EMTA Barometer of Public Transport in European Metropolitan Areas 2009". February 2012.
- Fundacio Mobilitat Sostenible i segura. "Movilidad 2008, Realidades, tendencias y retos de la movilidad de Cataluña". 2008.
- Hellem de Freitas Miranda, Antonio Nelson Rodrigues da Silva. "Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil". Transport Policy, vol 21. pp 141-151.

Modelos sostenibles de transporte urbano

Hugh Thomas. "Barreiros, el motor de España". Ed. Planeta. 2007.

I. Muñiz, A. Galindo. "Urban form and the ecological footprint of commuting. The case of Barcelona". *Ecological Economics*, vol 55. December 2005. pp 499-514.

INFRAS "Costes Externos del Transporte. Estudio de Actualización" Universidad de Karlsruhe Octubre 2004.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). "Guía de conducción eficiente de vehículos industriales". 2011.

James Keirstead, Mark Jennings, Aruna Sivakumar. "A review of urban energy system models: approaches, challenges and opportunities". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 16. August 2012. pp 3847-3866

Jonathan Norman, Heather L. MacLean and Christopher A. Kennedy. "Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions". *Urban Planning and Development*, March 2006, pp 10-21.

Jose M^a Gómez Espín. "Estrategias de innovación en el sector hortofrutícola español y en las empresas encargadas de la logística y transporte de estos productos perecederos". Universidad de Murcia. 2004.

Julio Pozueta. "Movilidad y Planeamiento Sostenible: Hacia una consideración inteligente del transporte y la movilidad en el planeamiento y en el diseño urbano". Cuadernos de Investigación Urbanística. Edición: Instituto Juan de Herrera. Junio 2000.

J.P Nicolas, P. Pochet, H. Poimboeuf. "Towards sustainable mobility indicators. Application to the Lyons conurbation". *Transport policy*, vol 10. 2003. pp 197-208.

J. Stromann-Andersen. P.A. Sattup. "The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight passive solar gains". *Energy and Buildings*, vol 43. August 2011. pp 2011-2020.

Kazuki Nakamura, Yoshitsugu Hayashi. "Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects". *Transport Policy*. August 2012.

Kayla Friedman, Alison Cooke. "City versus national energy use: Implications for urban energy policy and strategies". *Procedia Engineering*, vol 21. 2011. pp 464-472.

Kobe Boussauw, Frank Witlox. "Linking expected mobility production to sustainable residential location planning: some evidence from Flandes". *Transport Geography*, vol 19. July 2011. pp 936-942.

Laconte P. "Un espace urbain pour tous". *Les Cahiers de l'IAURP*. May 1996

L. Pelmans, D. De Keukeleere, G. Lenaers. "Emissions and fuel consumption of natural gas powered city versus diesel buses in real city traffic"

L. Schipper. "Automobile use, fuel economy and CO2 emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008?". *Transport Policy*, vol 18. March 2011. pp 358-372.

Marina Jovanovia, Naim Afgan, Vukman Bakic. "An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban Areas". *Energy*, vol 35. Sep 2010. pp 3909-3920.

Marianne Vanderschuren, T.E Lane, W. Korver. "Managing energy demand through transport policy: What can South Africa learn from Europe?". *Energy Policy*, vol 38. February 2010. pp 826-831.

Md Aftabuzzaman, Ehsan Mazloumi. "Achieving sustainable urban transport mobility in post peak oil era". *Transport Policy*, vol 18. September 2011. pp 695-702

Modelos sostenibles de transporte urbano

Mercedes Benz. True Blue Solutions. "El camino hacia una movilidad sostenible". 2009.

Molina E, Sanz A. "Transporte en modos no motorizados". Ciudad y territorio. Nº2.1980. pp 93-110.

O.Mindali, Adi Raveh, Ilan Salomon. "Urban density and energy consumption: a new look at old statistics". Transport Research Part A: Policy and Practice, vol 38. February 2004. pp 143-162.

Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM), Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. "Informe OMM – 2010"

P.Newman. "Cities and oil dependence". Futures, vol 8. August 1991. pp 170-173.

Pengjun Zhao. "Sustainable urban expansión and transportation in a growing megacity: Consequences of urban sprawl for mobility on the urban fringe of Beijing". Habitat International, vol 34. April 2010. pp 236-243.

Peter Newman, Jeffrey Kenworthy. "Overcoming automobile dependence". Sustainability and cities. February 1999.

Ralph P.Hall. "Introducing the concept of sustainable transportation to the U.S DOT through the reauthorization of TEA-21" Massachusetts Institute of Technology. 2002.

R.Camagni, Maria Cristina Gibelli, Paolo Rigamonti. "Urban mobility and urban form: the social and environmental cost of different patterns of urban expansión". Ecological Economics, vol 40. February 2002. Pp 199-216.

Rosario Macario, Carlos Filipe Marques. "Transferability of sustainable urban mobility measures". Transportation Economics, vol 22. 2008. pp 146-156.

Ralph Gakenheimer. "Urban mobility in the developing world". Transportation Research Part A. Policy and Practice, col 33. September 1999. pp 671-689.

Robert W. Burchell and Sahan Mukherji. "Conventional Development Versus Managed Growth: The Costs of Sprawl,". American Journal of Public Health, vol. 93. September. 2003, pp. 1534-1540.

Stewart Barr, Jan Prillwitz. "Green travelers? Exploring the spatial context of sustainable mobility styles". Applied Geography, vol 32. March 2012. pp 798-809.

T.J.Wallington, C.K.Lambert, W.C.Ruona. "Diesel vehicles and sustainable mobility in the U.S". Energy Policy. December 2011.

Todd Litman. "Evaluating Transportation Land Use Impacts. Considering the Impacts, Benefits and Costs of Different Land Use Development Patterns". Victoria Transport Policy Institute. September 2012

Todd Litman. "Comprehensive Transport Planning". Victoria Transport Policy Institute. 2005.

Urbanismo Sostenible (URSOS). Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía y Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza. <http://ursos.unizar.es/>